



## Metode uji alir fluida sumur panas bumi





Daftar isi

Daftar isi ..... i

Daftar tabel ..... ii

Latar belakang .....iii

1 Ruang lingkup ..... 1

2 Acuan ..... 1

3 Istilah dan definisi ..... 1

4 Uji aliran fluida sumur panas bumi ..... 3

LAMPIRAN A ..... 29

LAMPIRAN A (Lanjutan) ..... 30

LAMPIRAN B ..... 31

LAMPIRAN C ..... 33

LAMPIRAN D ..... 36

LAMPIRAN E ..... 37

Bibliografi ..... 46



## Daftar tabel

Tabel 1 : Parameter dan peralatan uji alir fluida (sifat fisis) sumur panas bumi .....	11
Tabel 2 : Spesifikasi turbin, generator, time semburan dan konversi uap di Indonesia (Pertamina 2000) .....	12
Tabel 3 : Penentuan faktor koreksi ukuran pipa untuk lempeng orifis dengan corner tappings dan pada D dan D/2 tappings.....	13
Tabel 4 : Daftar peralatan pengambil contoh (sampling) fluida panas bumi .....	14
Tabel 5 : Metode analisis, jenis unsur dan pemakaiannya pada pengujian sumur panas bumi.....	15





## Latar belakang

Dengan kemajuan pengusahaan energi panas bumi akhir-akhir ini, Pemerintah Indonesia dalam hal ini Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral memandang perlu untuk membuat Standar Nasional "Metode Uji Alir Fluida Sumur Panas Bumi".

Metode pengujian itu sangat penting untuk menghindari terjadinya kerancuan dalam pemakaian parameter fisis pada pengoperasian Pusat Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP). Penggunaan parameter yang tepat akan mendukung efisiensi dan kestabilan kuantitas/kualitas produksi sumur.

Standardisasi ini meliputi hal-hal berikut :

1. Penyeragaman metode, prosedur dan pemakaian satuan unit dalam penghitungan potensi sumur panas bumi yang dilakukan oleh instansi pemerintah maupun badan usaha.
2. Penyeragaman pedoman dan tata cara pengamatan/pengujian fisis dan kimia sumur panas bumi, termasuk pengambilan contoh dan jenis unsur yang akan dianalisis kimia.







## Metode uji alir fluida sumur panas bumi

### 1 Ruang lingkup

Ruang lingkup ini meliputi :

- 1) prosedur pengujian dan metode penghitungan potensi sumur panas bumi;
- 2) penjelasan peristilahan, pengujian fisis, parameter penghitungan, pengujian kimia dan jenis unsur yang dianalisis;
- 3) teknik penyajian data dan jenis perlengkapan/peralatan yang digunakan

### 2 Acuan

Acuan yang digunakan dalam penentuan Standar Metode Uji Aliran Fluida Sumur Panas Bumi ini adalah sebagai berikut:

- The British Standard-1042,1964. *Methods for the Measurement of Fluid Flow in Pipes. Part 1. Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Incorporating amendments issued September 1965 (PD 5636) and December 1968 (AMD 149), 2 Park St., London, WIY4AA.*
- Annual Book of ASTM Standards, 1998. *Nuclear, Solar and Geothermal Energy. Section 12. Volume 12.02. Nuclear (II), Solar, and Geothermal Energy. Includes Standards of the Following Committees : E-10 on Nuclear Technology and Applications, E-44 on Solar, Geothermal, and Other Alternative Energy Sources. ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*
- SNI 03-5012-1999, *Klasifikasi potensi energi panas bumi di Indonesia.*

### 3 Istilah dan definisi

#### 3.1

##### semburan

proses keluarnya fluida panas bumi dari reservoir ke permukaan melalui sumur bor



### 3.2

#### uap kering (satu fasa)

uap panas bumi yang berasal dari reservoir yang mempunyai sifat kebasahan ( $< 2\%$ ), maupun yang tidak mempunyai sifat kebasahan

### 3.3

#### campuran air panas dan uap (dua fasa)

fluida panas bumi yang berasal dari reservoir yang terdiri atas campuran air panas dan uap

### 3.4

#### uji produksi sumur

proses pengukuran parameter fisis, pengambilan contoh dan penghitungan potensi suatu sumur panas bumi yang telah mengalami semburan secara terus-menerus

### 3.5

#### sifat fisis sumur

sifat fisis fluida suatu sumur panas bumi yang teramati

### 3.6

#### sifat kimia sumur

sifat kimia fluida suatu sumur panas bumi yang teramati

### 3.7

#### tekanan kritis pipa lip

tekanan yang disebabkan oleh aliran fluida yang terbaca pada manometer ( $\geq$  tekanan udara luar) di ujung pipa lip

### 3.8

#### perangkat *device*

terdiri dari satu perangkat pembatas ruang pipa (lempeng orifis, *nozzle* atau tabung *venturi*) yang dipasang di pipa uji sehingga lubang aliran lebih kecil dibandingkan dengan pipa uji tersebut



### 3.9

#### lempeng *orifis*

lempeng datar, tipis dengan ukuran tertentu yang mempunyai satu lubang di tengah dan ditempatkan pada pipa uji

## 4 Uji aliran fluida sumur panas bumi

Pengujian sumur panas bumi meliputi pengujian **sifat fisis** (tekanan, temperatur dan laju aliran massa) dan **sifat kimia**. Pengujian/pengamatan kimia dimaksudkan untuk studi geokimia sumur (reservoir) panas bumi yang bersangkutan, berapa besar pengaruhnya terhadap faktor (pencemaran) lingkungan dan pelaksanaan operasi *power plant*.

### 4.1 Pengujian sifat fisis

Pengujian sifat fisis sumur panas bumi dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- 1) metode tekanan kritis pipa lip (James, R., 1960);
- 2) metode lempeng orifis (British Standard-1042; Part 1, 1964).

Jenis parameter, simbol, satuan dan peralatan pada uji aliran fluida (pengamatan fisis) sumur panas bumi disajikan pada **Tabel 1**, **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

#### 4.1.1 Metode tekanan kritis pipa lip

Metode ini merupakan satu cara penghitungan laju aliran fluida panas bumi yang lebih cepat dan sederhana. Parameter utama yang diamati meliputi :

- 1) tekanan kepala sumur (TKS);
- 2) tekanan kritis dalam pipa lip ( $P_c$ );
- 3) diameter dalam pipa ( $d$ );
- 4) ketinggian air pada  $90^\circ V$ -notch weir ( $H$ ) pada sumur dua fasa;
- 5) temperatur aliran pada kepala sumur pada sistem uap kering ( $T$ ) untuk menentukan enthalpi ( $h$ );
- 6) Pada sistem 2 fasa entalpi aliran ( $h$ ) dan laju alir uap ( $S$ ) yang diperoleh dari basil penghitungan.

**CATATAN** Diameter ( $\phi$ ) tekanan lip dan jarak titik tengah lubang tekanan lip dengan permukaan ujung pipa lip masing-masing 6"



#### 4.1.1.1 Rumus dasar penghitungan

Prinsip dasar metode tekanan kritis pipa lip (James, R., 1960) adalah bahwa massa yang keluar dari satu lubang sumur akan berhubungan dengan tekanan kritis pipa lip. Rumus-rumus penghitungan pada uji produksi ini adalah sebagai berikut.

1. Rumus umum penghitungan laju aliran massa total pada kepala sumur (M) :

$$M = 1,443 \times \frac{d^2 \times Pc^{0,96}}{h^{1,102}} \dots\dots\dots (1)$$

2. Rumus umum penghitungan laju aliran massa uap pada kepala sumur (S):

$$S = \frac{h - h_f}{h_{fg}} \times M \dots\dots\dots (2)$$

3. Rumus umum penghitungan entalpi fluida (h) :

$$\frac{W}{Pc^{0,96}} = \frac{0,000635 \times d^2 (2666 - h)}{h^{1,102}} \dots\dots\dots (3)$$

4. Rumus umum penghitungan laju aliran massa air dalam *weirbox* (W):

$$W = 0,0133 \times H^{2,5} \quad (\text{untuk sudut } V\text{-nocth} = 90^\circ) \dots\dots\dots (4)$$

**CATATAN** Pengukuran laju aliran air panas pada saluran terbuka dan bak penampungan air (*rectangular notch weir* dan *triangular notch weir*) disajikan pada **Lampiran A**. Jika laju aliran air panas dalam volume besar, penghitungan laju aliran air panas dapat dilakukan dengan tipe *rectangular-notch weir*. Sebaliknya, jika volume laju aliran air panas sangat kecil disarankan untuk menghitung volume laju aliran air panas dengan gelas ukur. Temperatur aliran air diukur di bak penampung (*weirbox*) untuk mendapatkan densitas air panas  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) dari *Steam Table*, kemudian hasil penghitungan laju aliran air panas,  $W$  ( $\text{kg/detik}$ ) dipakai untuk menentukan entalpi ( $h$ ) pada Rumus 3 di atas.



Dengan pengertian :

- M adalah laju aliran massa total (kg/detik);
  - S adalah laju aliran massa uap (kg/detik);
  - W adalah laju aliran massa air di *V-notch* (kg/detik);
  - H adalah tinggi air di *V-notch* (cm);
  - Pc adalah tekanan kritis di pipa lip (bar absolut);
  - D adalah diameter pipa lip (mm);
  - H adalah entalpi fluida (kJ/kg);
  - $h_f$  adalah entalpi pada kondisi saturasi air (kJ/kg);
  - $h_{fg}$  adalah entalpi penguapan (kJ/kg)
- 2666 (kJ/kg) adalah entalpi uap (hg) pada tekanan udara luar ( $\pm 0,8$  bar atau sekitar ketinggian 1200 m sampai 1500 m di atas permukaan laut).

#### 4.1.1.2 Prosedur penghitungan

Prosedur dan urutan penghitungan adalah sebagai berikut :

1. Mencatat hasil pengamatan TKS (bar absolut), Pc (bar absolut), diameter pipa lip, d (mm) dan tinggi air di *V-notch*, H (cm) dan menghitung laju alir air di bak penampungan (W).
2. Menentukan entalpi laju aliran massa total (kJ/kg). Gunakan grafik pada **Gambar 3**.
3. Menentukan entalpi saturasi air,  $h_f$ , dan entalpi penguapan,  $h_{fg}$ , (dalam kJ/kg) dengan menggunakan *steam table* pada TKS tercatat.
4. Menentukan potensi sumur dalam Mwe pada TKS 5, 10 dan 15 bar absolut (lihat contoh pada **Tabel 2**).

#### 4.1.2 Metode lempeng orifis

Metode lempeng orifis (British Standard 1042; Part 1, 1964) adalah metode penghitungan laju aliran dengan pengukuran beda tekanan di antara lubang pipa hulu (*upstream*) dan hilir (*downstream*) terhadap posisi *device* (Gambar 4). Metode ini merupakan pengujian sumur yang baik untuk saat ini dan syaratnya adalah laju aliran harus pada kondisi satu fasa.



Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi :

- 1) tekanan kepala sumur (TKS);
- 2) tekanan di hulu ( $P_u$ );
- 3) selisih tekanan ( $\Delta P$ ) di hulu dan hilir;
- 4) Temperatur aliran di hulu ( $T_u$ );
- 5) diameter dalam lempeng orifis ( $d$ );
- 6) diameter dalam pipa uji di hulu ( $D$ );
- 7) berat jenis fluida di hulu ( $\rho$ ), viskositas fluida ( $\mu$ ) dan *specific heat ratio* ( $\gamma$ ).

**CATATAN** Lempeng orifis yang dibicarakan di sini adalah lempeng orifis bertipe sisi lubang persegi (*square- or sharp-edged orifice plates*) dengan ; (i). lubang tekanan di sudut (*with corner tapping*), (ii). lubang tekanan pada  $D$  dan  $D/2$  (*with D and D/2 tapping*), dan (iii). lubang tekanan di flensa (*with flange tapping*). Lampiran B perkiraan diameter lubang orifis terpasang (yang memadai pada setiap pengujian).

#### 4.1.2.1 Rumus dasar penghitungan massa uap

Rumus dasar penghitungan potensi sumur panas bumi dengan metode lempeng orifis didasarkan pada *the British Standard-1042, Part 1* (1964) yang telah dikonversikan dengan satuan unit yaitu :

$$M = 0,010998 C Z \epsilon E d^2 \sqrt{\Delta P \rho} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dengan pengertian :

- M adalah laju aliran massa uap (kg; detik).
- C adalah koefisien dasar.
- Z adalah faktor koreksi.
- $\epsilon$  adalah faktor ekspansibilitas.
- $\gamma$  adalah rasio panas spesifik dari uap dan  $CO_2$ .
- $d$  adalah diameter dalam orifis (mm)
- $D$  adalah diameter dalam pipa uji (mm),  
 $D$  dan  $d$  dikoreksi sesuai dengan faktor panas logam pada  $T_u$ .
- $M$  adalah perbandingan luas ( $m$ ) =  $(d/D)^2$
- $E$  adalah faktor kecepatan ( $E$ ) =  $(1 - m^2)^{-0.5}$
- $\Delta p$  adalah selisih tekanan di hulu dan hilir (bar).
- $\rho$  adalah berat jenis uap ( $kg/m^3$ ).



**CATATAN** Rumus (5) pada lempeng orifis tersebut di atas dapat digunakan dalam penghitungan laju alir massa air panas,  $M$  (kg/detik) dengan memakai faktor ekspansibilitas  $\varepsilon = 1$  dan parameter  $p$  (kg/m<sup>3</sup>) mewakili berat jenis air panas. Penghitungan laju aliran air panas yang lebih teliti dengan mempertimbangkan adanya proses *flashing* di kepala sumur, di separator (atau di sepanjang jalur pipa uji hingga *weir box*) dapat melakukan prosedur penghitungan seperti pada Lampiran C.

#### 4.1.2.2 Prosedur penghitungan massa uap

Prosedur dan urutan penghitungan adalah sebagai berikut.

1. Katup *throttle* ditempatkan sesudah orifis
2. Mengukur diameter lubang orifis,  $d$  (mm)
3. Mengukur diameter pipa uji di hulu,  $D$  (mm)
4. Menentukan jenis orifis dan pemakaian grafik dalam proses penghitungan disesuaikan dengan letak lubang tekanan di orifis.
5. Mencatat perbedaan tekanan pada lubang tekanan di orifis,  $\Delta P$  (bar)
6. Mencatat tekanan di hulu,  $P$  (bar gauge); ukur tekanan udara luar di lokasi tersebut,  $P_a$  (bar); tentukan  $P_u$  abs. di hulu ( $= P + P_a$ )
7. Mencatat temperatur aliran uap,  $T_u$  di hulu (°C)
8. Menentukan berat jenis fluida,  $p$  (kg/m<sup>3</sup>) pada kondisi hulu
9. Menentukan viskositas fluida,  $\mu$  (poise) pada kondisi hulu dengan menggunakan grafik pada Gambar 5 (atau Fig. 19 dalam BS-1042 Part 1, 1964).
10. Menentukan harga *specific heat ratio*  $\gamma$  (1.30 — 1.33) sesuai Gambar 6 (atau Fig. 21 pada BS-1042 Part 1, 1964).
11. Melakukan koreksi  $d$  dan  $D$  karena pengaruh temperatur, dapat ditentukan dari Gambar 7 (atau Fig. 5 pada BS-1042 Part 1, 1964).
12. Menghitung  $m = (d/D)^2$  setelah dilakukan koreksi tersebut di atas.
13. Menghitung faktor kecepatan  $E = (1 - m^2)^{-0.5}$
14. Menentukan koefisien dasar  $C$  dengan menggunakan salah satu grafik pada Gambar 8, 9 dan 10 (atau Fig. 35, 38 and Fig. 41 pada BS-1042 Part 1, 1964) sesuai rasio luas ( $m$ ).
9. Menghitung perkiraan laju aliran massa,  $M_1$ (kg/detik)= $0,010998 C E d^2 \sqrt{\Delta P p}$  (faktor  $Z$  dan  $E$  akan ditentukan kemudian).
10. Menghitung bilangan *Reynold*,  $Rd = 3.54 M_1 / \mu d$ .
11. Menghitung harga  $Z$  yang besarnya tergantung  $m$ ,  $D$  dan  $Rd$  (bilangan Reynold),  $Z = Z_R Z_D$ . Menentukan  $Z_R$  dan  $Z_D$  dengan grafik yang sesuai pada Gambar 8, 9 dan 10 (atau Fig. 35, 38 and 41 pada BS-1042 Part 1, 1964). Melakukan koreksi dengan paragraf 61b



dan 61c pada Tabel 3.

- Menentukan faktor ekspansibilitas (*Expansibility Factor*),  $\epsilon$  dengan grafik pada Gambar 11 (atau Fig. 39 pada BS-1042 Part 1, 1964) yang sesuai dengan  $\Delta P$ ,  $P_u$ ,  $\gamma$  dan  $m$ , atau dengan menggunakan persamaan berikut ;

$$\epsilon = 1 - \{(0.41 + 0.35 m^2) (1/\gamma) (\Delta P/P_u \text{ ab})\}$$

( $\gamma = 1.33$  untuk *saturated steam*;  $\gamma = 1.3$  untuk *superheated steam*).

- Menghitung kembali  $M$ ;  $M = M_1 Z \epsilon$
- Menentukan potensi sumur dalam MWe pada TKS 5, 10 dan 15 bar absolut (lihat contoh pada Tabel 2).

#### 4.1.2.3 Rumus dasar dan prosedur penghitungan massa air

Rumus dan prosedur penghitungan massa air dengan metode lempeng orifis dapat menggunakan rumus dasar (Rumus 5) dan prosedur penghitungan massa uap dengan beberapa perubahan sebagai berikut :

- Menghilangkan variabel  $\gamma$  (rasio panas spesifik uap dan  $\text{CO}_2$ )
- Harga faktor ekspansibilitas menjadi sama dengan satu ( $\epsilon = 1$ )
- Menentukan viskositas fluida ( $\mu$ ) dengan menggunakan grafik dari Gambar 5.2 (Fig.1 dalam BS-1042 Part 1, 1964).

#### 4.1.3 Pengukuran kalorimeter

Pengukuran kalorimeter dimaksudkan untuk mendapatkan harga entalpi uap, melakukan koreksi terhadap entalpi semburan dan menentukan faktor kebasahan uap pada TKS tertentu. Peralatan pengukuran kalorimeter diperlihatkan pada **Gambar 12** dan contoh perhitungan disajikan pada **Lampiran D**.

##### 4.1.3.1 Tahapan pengukuran kalorimeter

- Menempatkan tabung kalorimeter (tabung isolator) dan menghubungkan dengan titik pengambilan contoh di pipa uap (posisi tabung diusahakan tidak miring).
- Mengisi tabung dengan air dingin sebanyak volume yang sudah ditentukan sebagai volume awal.
- Mengukur temperatur air di tabung kalorimeter beberapa kali sebelum uap dimasukkan ke dalam tabung sebagai temperatur awal.
- Membuka katup pada titik pengambilan contoh, setelah uap masuk ke dalam tabung di usahakan temperatur di dalam tabung tidak lebih dari  $60^\circ\text{C}$  agar tidak terjadi



penguapan.

5. Menutup katup pada titik pengambilan contoh.
6. Mengukur temperatur air pada tabung kalorimeter, sebagai temperatur akhir.
7. Menghitung volume air dengan gelas ukur sebagai volume total, dan volume pertambahan = volume total - volume awal
8. Melakukan pengukuran beberapa kali (minimal tiga kali) untuk mendapatkan data yang akurat.

#### 4.1.3.2 Parameter dan perhitungan

Parameter	Rumus	Simbol	Satuan
Waktu		$T_m$	detik
Volume air awal		$V_1$	liter
Suhu air awal		$T_1$	$^{\circ}\text{C}$
Volume jenis awal		$v_{f1}$	$\text{cm}^3/\text{kg}$
Entalpi awal		$h_{f1}$	$\text{kJ/kg}$
Berat air awal	$V_1/v_{f1}$	$W_1$	kg
Energi awal	$W_1 \times h_{f1}$	$H_1$	kJ
Pertambahan volume		$dV$	liter
Volume akhir	$V_1 + dV$	$V_2$	liter
Suhu akhir		$t_2$	$^{\circ}\text{C}$
Volume jenis akhir		$v_{f2}$	$\text{cm}^3/\text{kg}$
Entalpi akhir		$h_{f2}$	$\text{kJ/kg}$
Berat air akhir	$V_2/v_{f2}$	$W_2$	kg
Energi akhir	$W_2 \times h_{f2}$	$H_2$	kJ
Pertambahan berat	$W_2 - W_1$	$dW$	kg
Pertambahan energi	$H_2 - H_1$	$dH$	kJ
Entalpi uap	$dH/dW$	$h_o$	$\text{kJ/kg}$
Fraksi uap	$(h_o - h_f)/h_{fg}$	$X$	
Kebasahan uap	$(1-X) \times 100\%$		%
CATATAN $h_f$ dan $h_{fg}$ didapat dari <i>Steam Table</i> berdasarkan harga $T_u$ dan $P_u$			



## 4.2 Pengujian sifat kimia

Contoh-contoh yang dianalisis pada pengujian sifat kimia sumur panas bumi bertipe semburan dua fasa adalah contoh uap (*steam condensable sample*), contoh air panas (*brine water sample*), dan contoh gas dalam uap (*non-condensable gas*). Sebaliknya, contoh-contoh yang diambil pada sumur panas bumi bertipe semburan uap kering adalah contoh uap dan contoh gas dalam uap.

Data pengamatan kimia meliputi :

- a) Jumlah (% volume atau % berat) dan komposisi gas yang tidak terkondensasikan dalam uap;
- b) komposisi kimia uap dan air panas, kedua hal tersebut menggambarkan kualitas uap dari sumur.

### 4.2.1 Prosedur pengambilan contoh

Lokasi pengambilan contoh dan peralatan yang diperlukan diperlihatkan pada **Gambar 13** dan **Tabel 4**. Prosedur pengambilan contoh uap, air panas (SPW) dan gas dalam uap (NCGS) harus memenuhi standar ASTM (*Designation : E 1675 – 95a*) sebagaimana dijelaskan pada salah satu contoh di **Lampiran E**.

### 4.2.2 Jenis unsur kimia fluida yang dianalisis

Analisis kimia fluida contoh uap (SCW), air panas (SPW) dan total gas yang tidak terkondensasi dalam uap (NCGS) pada pengujian ini harus memenuhi standar ASTM (*Committee E-44, 1998*).

Kriteria analisis kimia dan jenis unsur yang dianalisis kimia dijelaskan di bawah ini.

1. Pada awal pengujian, unsur-unsur yang dianalisis kimia dari contoh fluida adalah seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.
2. Setelah sumur memproduksi secara komersial, maka unsur-unsur yang perlu diamati dari analisis kimia air panas (SPW), Kondensat (SCS) dan Gas (NCGS) berdasarkan kepentingan reservoir, lingkungan, operasional dan untuk kualitas uap seperti pada Tabel 5.
3. Unsur CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dari contoh air yang dipisahkan atau kondensat dianalisis kimia langsung di lapangan dengan menggunakan metode iodometri untuk H<sub>2</sub>S dan titrasi asambasa untuk CO<sub>2</sub>.



Tabel 1 Parameter dan peralatan uji alir fluida (sifat fisis) sumur panas bumi

No.	Parameter	Simbol	Satuan (Unit)	Keterangan (Peralatan)
1.	Tekanan Kepala Sumur (TKS)	TKS	Kg/cm <sup>2</sup> , Psi	<i>Bourdon Tube Type Pressure Gauge</i>
2.	Tekanan Udara Luar	Pa	mmHg, bar	Barometer
3.	Tekanan di pipa lips	P <sub>c</sub>	Psi, Kg/cm <sup>2</sup>	<i>Bourdon Tube Type Pressure Gauge</i>
4.	Tekanan Pada Separator	P <sub>sep.</sub>	Kg/cm <sup>2</sup> , Psi	<i>Bourdon Tube Type Pressure Gauge</i>
5.	Tekanan di <i>upstream</i>	P <sub>u</sub>	Kg/cm <sup>2</sup> , Psi	<i>Bourdon Tube Type Pressure Gauge</i>
6.	Selisih Tekanan <i>upstream</i> dan <i>downstream</i>	ΔP	mmHg, Psi, Kg/cm <sup>2</sup>	<i>Bourdon Tube Type Pressure Gauge</i>
7.	Temperatur di <i>upstream</i>	T <sub>u</sub>	°C	<i>Thermocouple</i>
8.	Diameter dalam lubang <i>orifice</i>	d	mm, m	Jangka
9.	Diameter dalam pipa uji di <i>upstream</i>	D	mm, m	Jangka
10.	Lebar <i>V-notch weir</i>	B	cm, m	<i>Ruler</i>
11.	Lebar celah <i>weir</i>	b	cm, m	<i>Ruler</i>
12.	Tinggi air pada celah <i>V-notch weir</i>	H	cm, m	<i>Ruler</i>
13.	Tinggi celah dari dasar <i>weir</i>	H <sub>w</sub>	cm, m	<i>Ruler</i>
14.	Entalpi	h	Btu/lb, KJ/kg	<i>Tabel (Chart)</i>
15.	Entalpi saturasi air	h <sub>f</sub>	Btu/lb, KJ/kg	<i>Steam Table</i>
16.	Entalpi saturasi uap	h <sub>g</sub>	Btu/lb, KJ/kg	<i>Steam Table</i>
17.	Entalpi penguapan	h <sub>fg</sub>	Btu/lb, KJ/kg	<i>Steam Table</i>
14.	Rapat (massa) jenis fluida	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	<i>Tabel (Chart)</i>
15.	Viskositas fluida	μ	poise, Kg/cm sec.	Grafik
16.	Kapasitas Panas ( <i>Specific heat ratio</i> )	γ	-	Grafik
17.	Faktor Kecepatan	E	-	Perhitungan
18.	Koefisien Dasar	C	-	Grafik
19.	Bilangan Reynold (Reynold number)	R <sub>d</sub>	-	Grafik
20.	Faktor koreksi 1)	Z <sub>R</sub>	-	Grafik
21.	Faktor Koreksi 2)	Z <sub>o</sub>	-	Grafik
22.	Faktor ekspansibilitas ( <i>Expansibility factor</i> )	ε	-	Grafik
23.	Laju Alir Massa ( <i>Total Mass Flow Rate</i> )	M	Kg/sec	Perhitungan
24.	Laju Alir Air ( <i>Water Flow Rate</i> )	W	Kg/sec	Perhitungan
25.	Laju Alir Uap ( <i>Steam Flow Rate</i> )	S	Kg/sec	Perhitungan

Catatan. Parameter di atas mencakup metode orifis dan tekanan kritis pipa lip.



Tabel 2 Spesifikasi turbin, generator, time semburan dan konversi uap di Indonesia (PERTAMINA, 2000)

No.	Proyek	Plant Operator	Turbin		Generator		Kondenser		Konversi Uap	Tipe Semburan (Discharge Type)				
			Merek (Jenis)	Tekanan Masuk (bar abs.)	Merek	Kapasitas Maksimum	Jenis	Tekanan						
1.	Kamojang Unit I	PT. PLN	Mitsubishi heavy Indst. Single Flash Double Flow.	6.5	Mitsubishi Electric	64,706 Kva 11.8 bar abs.	Direct contact	0.13 bar abs.	8 Ton/jam (7.6 Ton/jam)	Satu Fasa				
	Mitsubishi Electric				68,750 Kva 13.8 bar abs.	Direct contact	0.107 bar abs.	1.83 Kg/s/Mwe (6.552 ton/jam)	Satu Fasa					
	Mitsubishi Electric				100,706 Kva 13.8 bar abs.	Direct contact	0.0606 bar abs.	1.66/Kg/s/Mwe (5.976 Ton/jam)	Satu Fasa					
3.	Wayang Windu	Magma Nusantara, Ltd.	Fuji Electric Single Casing Cond. Reaction Type	10.2	Fuji Electric	137,500 Kva 13.8 bar abs. Spray Type	Direct contact	0.120 bar abs.	1.96 Kg/s/Mwe (6.67 Ton/jam)	Dua Fasa & Satu Fasa				
4.	Gn. Salak I	PT. PLN	Ansaldo (Italy) Single Flash, Double flow type	6.5	Ansaldo	68.75 Kva Voltage 11.8 kv	Direct contact Low level type.		Heat Rate 21916 kJ/kwh.	Dua Fasa Steam NCG 1.50%				
	Gn. Salak II													
	Gn. Salak III													
	Gn. Salak IV													
	Gn. Salak V	U.G.I. Ltd.	Fuji Electric Single Casing Cond. Reaction Type	5.86	Fuji Electric	647,006 Kva 11.8 bar abs.	Surface contact	6.2 Cm Hg	1.93 Kg/s/Mwe (6.81 Ton/jam)	Dua Fasa				
	Gn. Salak VI													

Perlepas keterangan pada poin 4 (Gn. Salak)



**Tabel 3** Penentuan factor koreksi ukuran pipa untuk lempeng orifis dengan corner tappings dan pada D dan D/2 tappings (untuk mendapatkan harga Z)

Tipe pipa dan permukaan dalam	Kisaran ukuran (diameter dalam) pipa (inchi), faktor koreksi ukuran pipa juga diperhitungkan		
	Kasus A	Kasus B	Kasus C
<i>Brass, copper, lead, glass, plastics</i>	-	1 - 2	> 2
<i>Steel</i>			
<i>Not rusty</i>			
<i>Cold-drawn</i>	-	1 - 2	> 2
<i>Seamless</i>	1 - 2.5	2.5 - 5	> 5
<i>Welded</i>	1 - 3.5	3.5 - 6.5	> 6.5
<i>Slightly rusty</i>	1 - 4	4 - 8	> 8
<i>Rusty</i>	2 - 8	8 - 16	> 16
<i>Slightly encrusted</i>	8 - 16	-	> 16
<i>Bitumenised</i>			
<i>New</i>	-	1 - 3.5	> 3.5
<i>Used</i>	1 - 4	4 - 8	> 8
<i>Galvanised</i>	1 - 4	4 - 8	> 8
<i>Cast iron</i>			
<i>Not rusty</i>	2 - 8	8 - 16	> 16
<i>Rusty</i>	8 - 16	-	> 16
<i>Bitumenised</i>	1 - 4	4 - 8	> 8

Paragraf 61b, 61c dan Tabel 9 (B.S. 1042 : Part 1 . 1964)

- 61b. Faktor Koreksi Bilangan Reynolds  $Z_R$ . Nilainya diberikan di Gambar 38b (B.S. 1042 : Part 1. 1964). Kurva putus-putus untuk bilangan Reynold 10.000 dan 15.000 hanya dapat diaplikasikan untuk pipa yang berdiameter dalam kurang dari 2 inchi.
- 61c. Faktor Koreksi Ukuran Pipa,  $Z_D$ . Nilainya tidak hanya tergantung pada ukuran pipa, tetapi juga pada kekasaran permukaan dalam dari pipa di bagian hulu.
- Terdapat tiga kasus sebagai berikut.
- Kasus A. Faktor koreksi ukuran pipa sama dengan nilai  $Z_D$  pada Gambar 38c . (B.S. 1042 : Part 1. 1964).
  - Kasus B. Faktor koreksi ukuran pipa adalah setengah dari jumlah nilai kesatuan  $Z_D$  pada Gambar 38c (B.S. 1042 : Part 1. 1964).
  - Kasus C. Faktor koreksi ukuran pipa sama dengan kesatuan (*unity*). Contoh kasus pemakaian sesuai Tabel 9 (B. S. 1042 : Part 1. 1964) tergantung diameter dan tipe pipa di bagian hulu.



Tabel 4 Daftar peralatan pengambilan contoh (sampling) fluida panas bumi

No.	Peralatan	Tipe (Jenis)	Kapasitas (Fungsi Alat)
1.	Separator dua fasa lengkap dengan alat pengukur tekanan dan temperatur ( <i>digital thermometer</i> )	Cyclone	Pengambilan contoh
2.	Selang Contoh ( <i>Sample Hoses</i> )	Stainless steel	Menghindari kontaminasi
3.	Kondensor (dengan 2 set stainless steel tubing coils)	Stainless steel	Kondensasi uap (fluida)
4.	Ember + es (sekitar 20 Kg)	-	Pendingin
5.	Penyaring bertekanan (diameter 47 mm)	Saringan membran	Kapasitas 0.45 mikron
6.	<i>Conductivitymeter</i>	<i>Portable</i>	Pengukur daya hantar listrik fluida
7.	<i>Dry Gas Meter</i> (DGM)	DTM 115	Debit $\pm 1$ liter/putaran
8.	Timbangan	Analitik	Mengukur berat contoh (Ketelitian 0.1 m.gram)
9.	Pengukur Tekanan (Pressure Gauge)	<i>Bourdon-tube</i>	Akurasi minimum 1%
10.	Termometer / <i>Thermocouple</i>	<i>Thermocouple</i>	Mengukur suhu fluida Akurasi sedikitnya $\pm 1^{\circ}\text{F}$ .
11.	- Botol contoh (atau botol kaca berwarna biru, coklat, dll.) - Botol contoh NCGS - Botol impinger	<i>Polyetylen</i>  STEM Disusun seri	Tempat contoh  <i>Non-condensable gas</i> <i>Non-condensable gas</i>
12.	<i>Gas Detector</i> (termasuk masker)	-	Fasilitas keamanan kerja

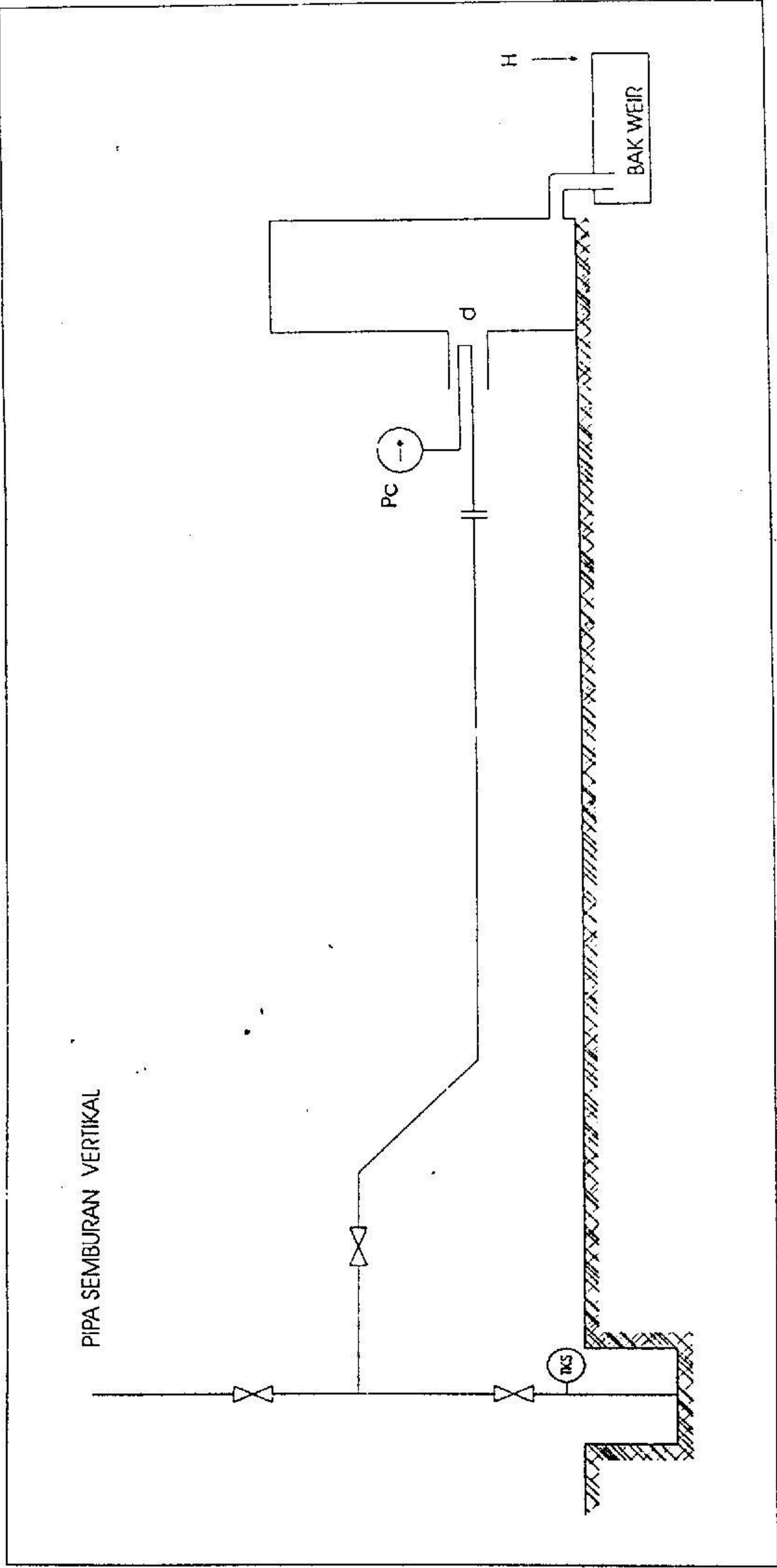


Tabel 5 Metode analisis, jenis unsur dan pemakaiannya pada pengujian sumur panas bumi

Unsur	Simbol	Metode analisis											Keterangan	
		Titrimetry	Gas Chromatograph	Atomic Absorption	Colorimetric	Flameless Emission	Gutzeit	Atomic emission	Flame photometric	Potentiometric	Ion selective electrode	Gravimetric		pH meter
<b>I. Analisis gas</b>														
1. Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	x												Lingkungan
2. Hidrogen Sulfida	H <sub>2</sub> S	x												Lingkungan
3. Amonia	NH <sub>3</sub>		x											Monitoring gas organik
4. Helium	He		x											PFS
5. Argon	Ar		x											Geotermometer
6. Hidrogen	H <sub>2</sub>		x											Geotermometer
7. Oksigen	O <sub>2</sub>		x											Kontaminasi udara
8. Nitrogen	N <sub>2</sub>		x											Monitoring gas organik
9. Metan	CH <sub>4</sub>		x											Monitoring gas organik
<b>II. Analisis air</b>														
1. Kalsium	Ca	x		x										Geotermometer
2. Magnesium	Mg			x	x									Geotermometer
3. Natrium	Na							x	x					Geotermometer
4. Kalium	K							x	x					Geotermometer
5. Silika	SiO <sub>2</sub>							x		x				Geotermometer, scaling
6. Alumunium	Al			x	x									Lingkungan, korosi
7. Mangan	Mn			x	x									Lingkungan, korosi
8. Besi	Fe			x	x									Lingkungan, korosi
9. Litium	Li							x	x					Sumber air atau mixing
10. Boron	B	x			x									Sumber air atau mixing
11. Bromida	Br	x			x									Sumber air atau mixing
12. Bikarbonat	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	x										x		Scaling dan lingkungan
13. Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	x								x		x		Monitoring pH, korosi dan lingkungan
14. Klorida	Cl <sup>-</sup>	x								x				Sumber air dan lingkungan
15. Nitrat	NO <sub>3</sub>				x									Lingkungan
16. Nitrit	NO <sub>2</sub>				x									Lingkungan
17. Amonia	NH <sub>4</sub>				x						x			Lingkungan
18. Arsen	As				x		x							Lingkungan
19. Fluorida	F				x						x			Lingkungan
20. Iodida	I	x												Lingkungan
21. Seng	Zn			x	x									Lingkungan
22. Timbal	Pb			x	x									Lingkungan
23. Raksa	Hg					x								Lingkungan dan reservoir
24. Kromium	Cr			x	x									Lingkungan
25. Kobal	Co			x	x									Lingkungan
26. Selenium	Se				x									Lingkungan
27. Sesium	Cs							x	x					Lingkungan
28. Antimon	Sb				x									Lingkungan

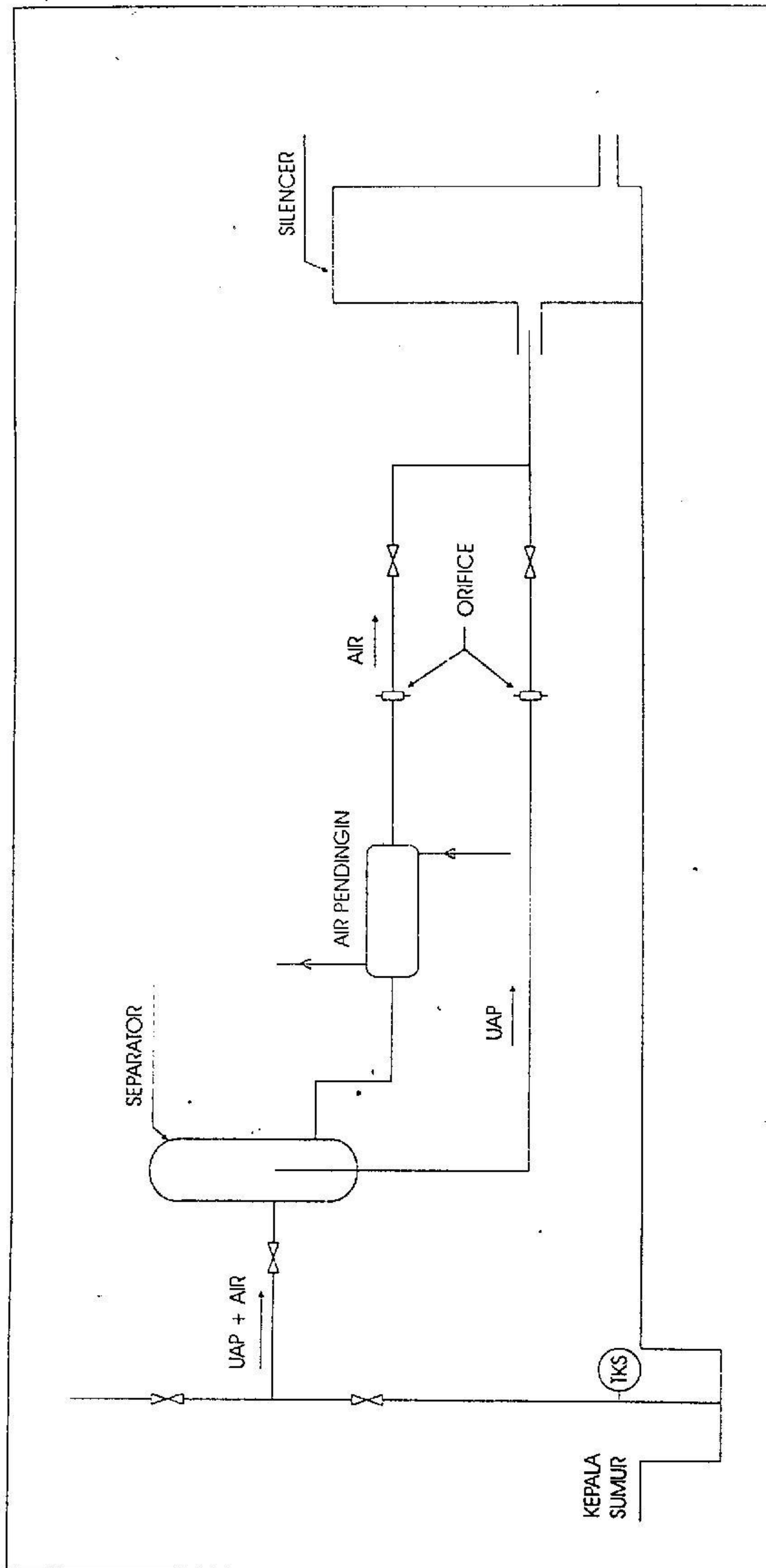
Catatan . x = Jenis unsur dan metode analisis yang direkomendasikan





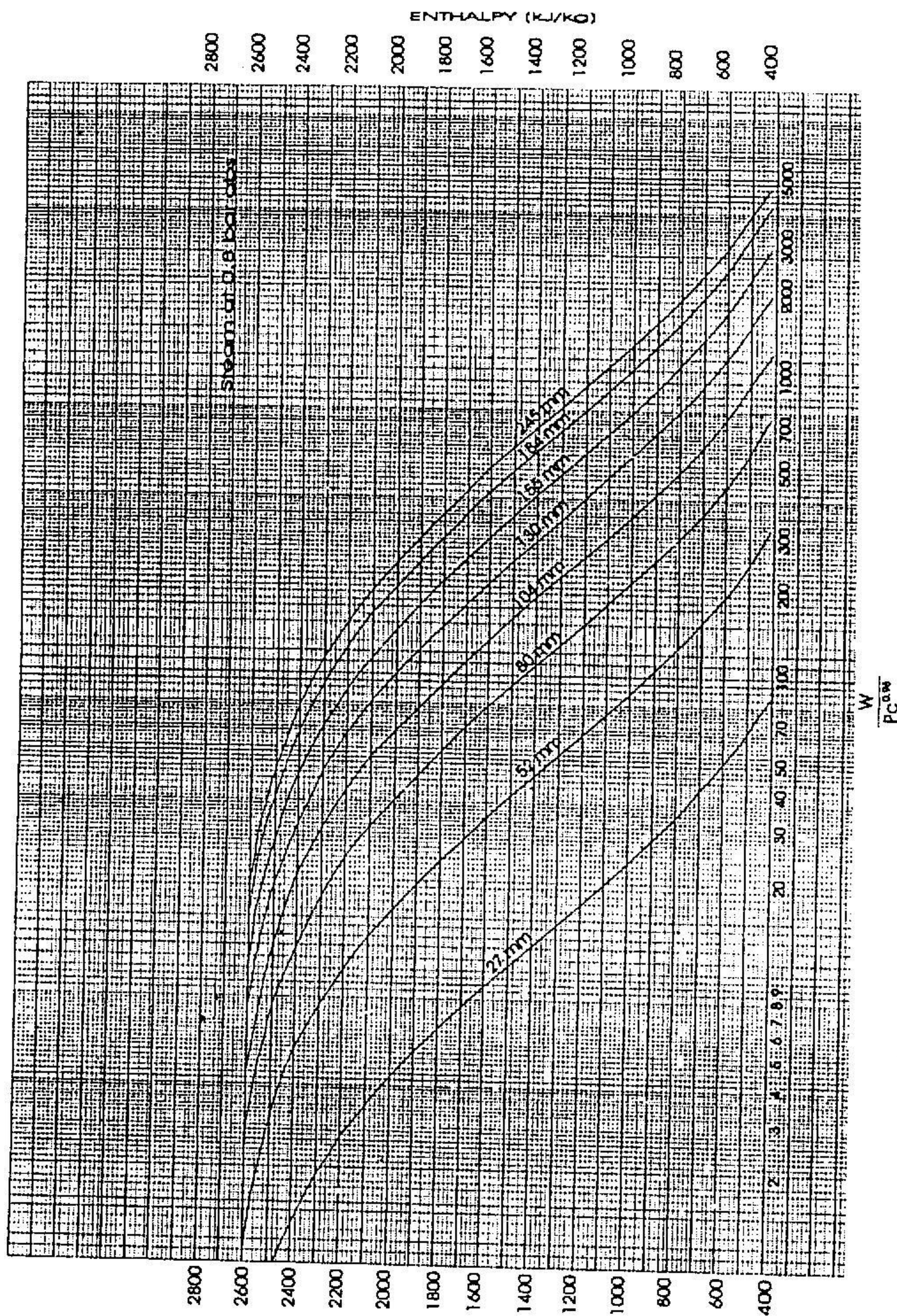
Gambar 1 Skema instalasi pengujian sumur panas bumi dengan metode tekanan kritis pipa lip.





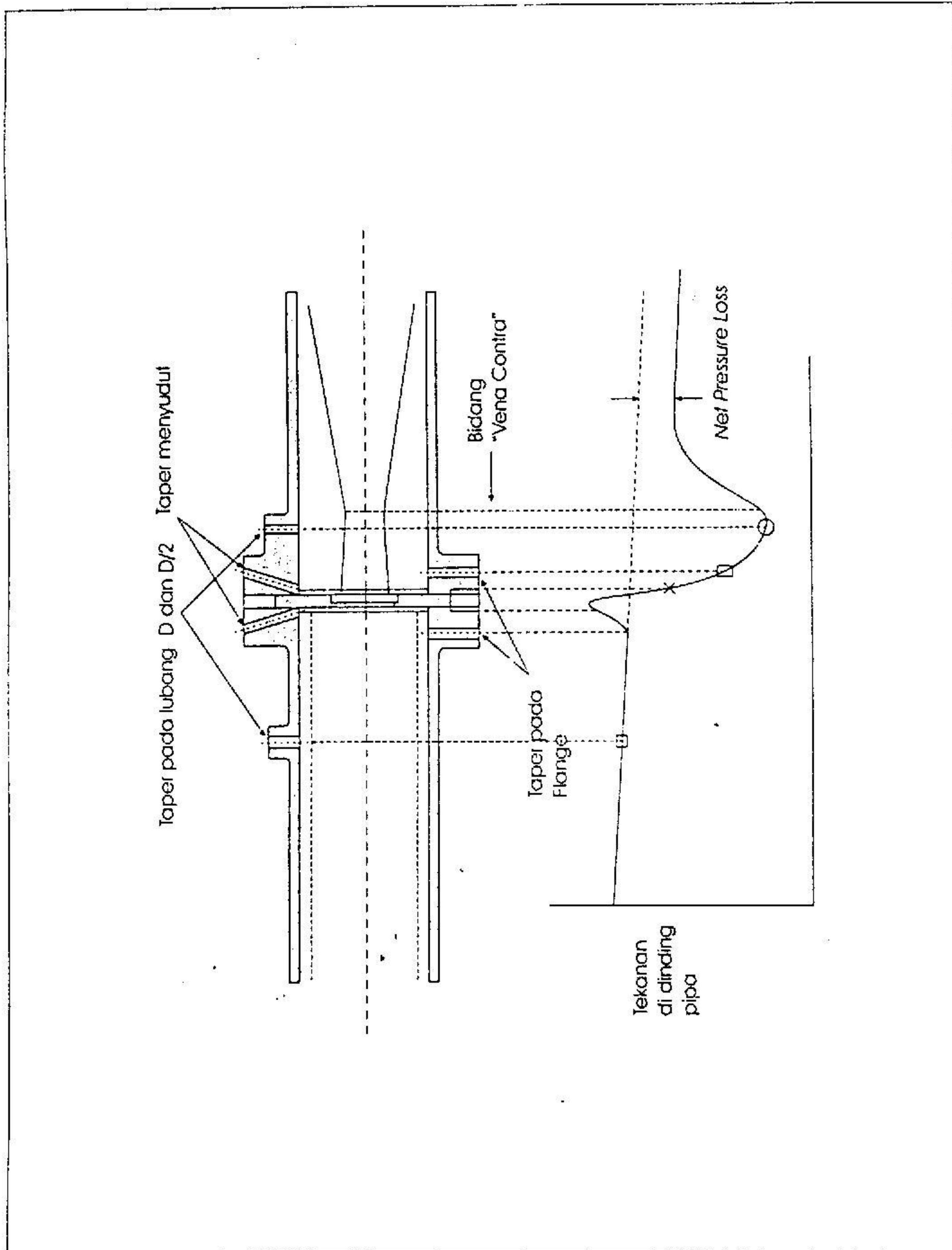
Gambar 2 Skema instalasi pengujian sumur panas bumi dengan separator (metode lempeng orifice)





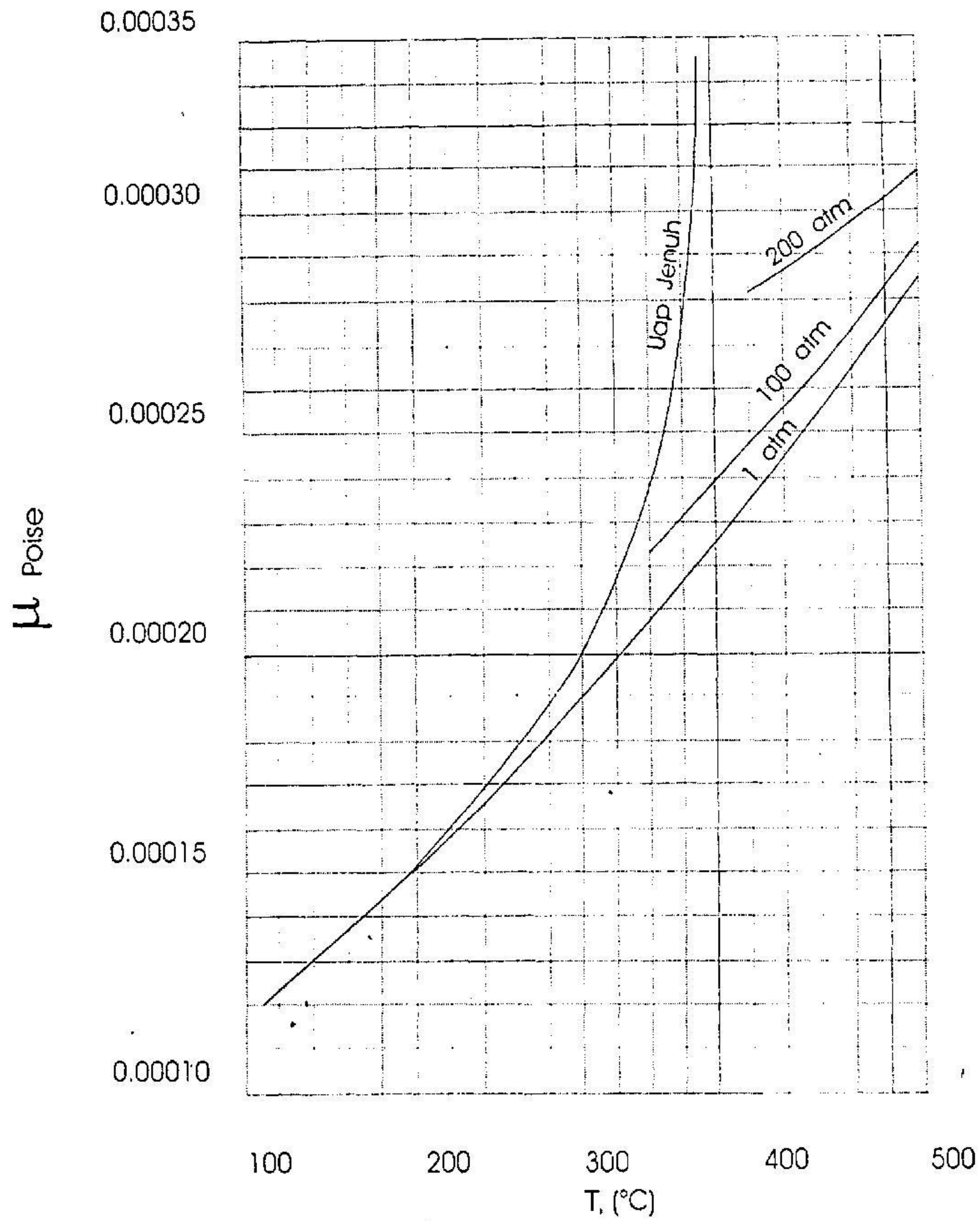
Gambar 3 Kurva untuk menentukan besaran entalpi berdasarkan grafik hubungan antara diameter pipa dan rasio  $\frac{W}{Pcaw}$





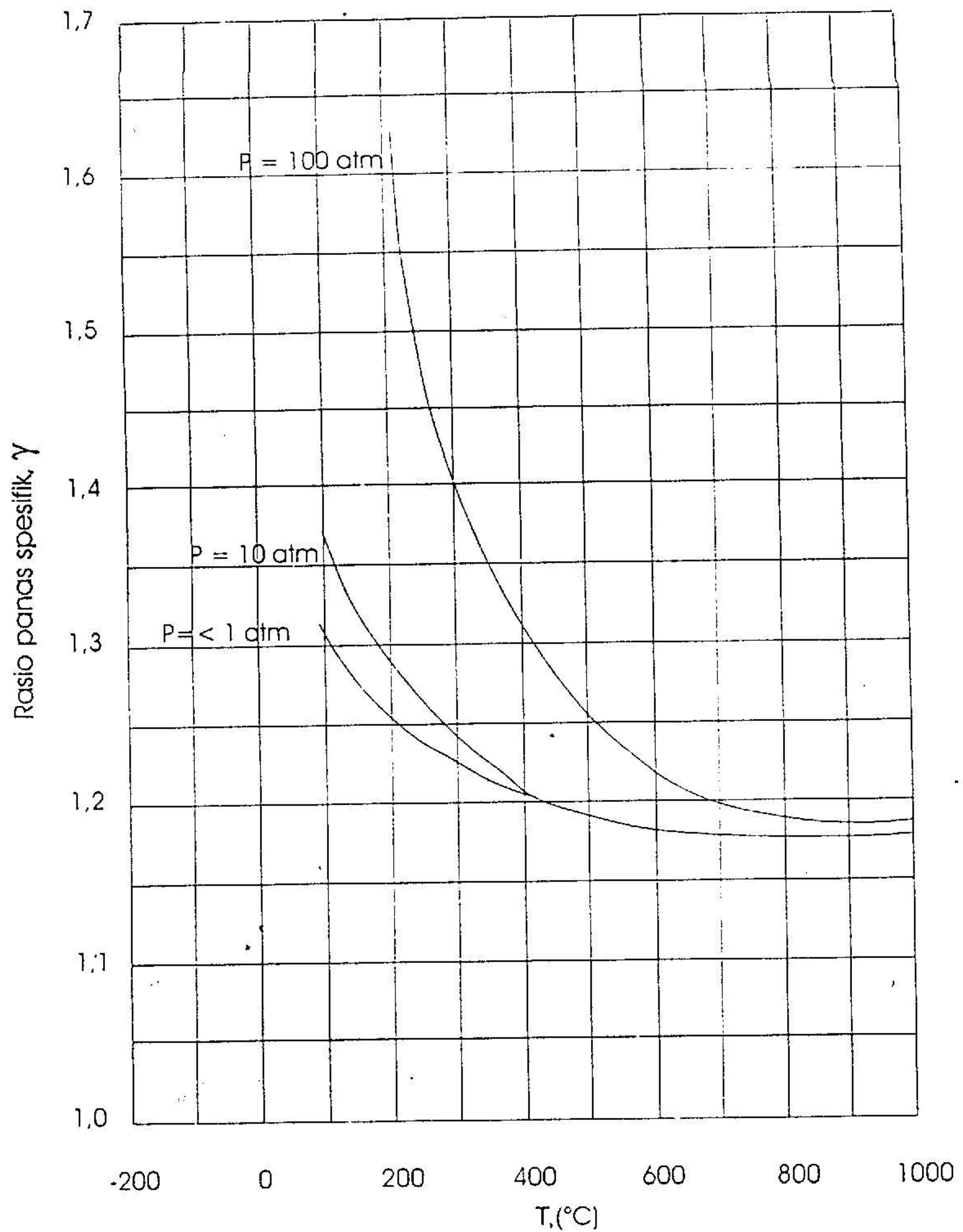
Gambar 4 Lempeng orifice bertipe sisi-lubang persegi menunjukkan variasi tekanan sepanjang dinding pipa





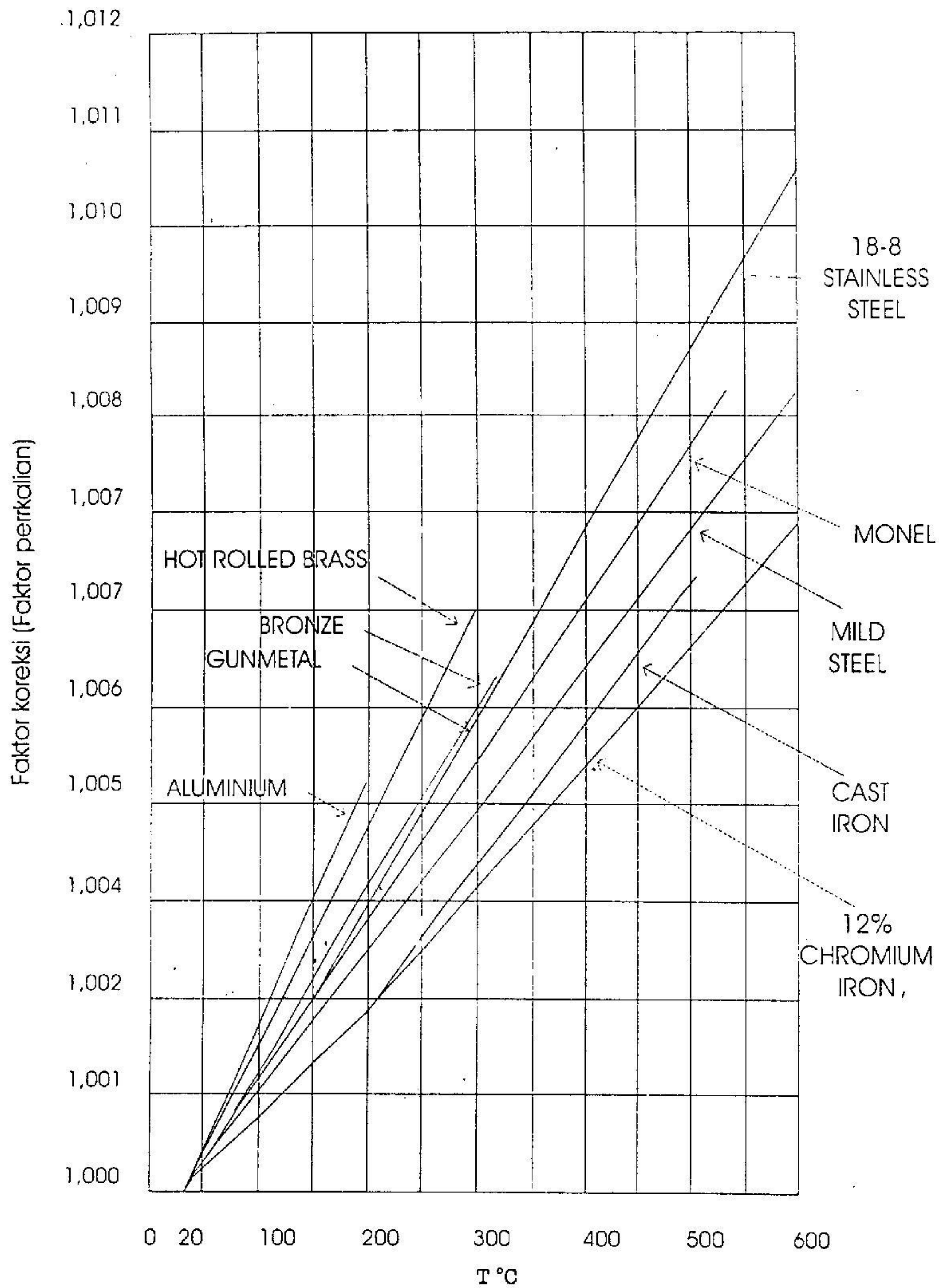
Gambar 5 Grafik data viskositas dinamika uap,  $\mu$  (Digambar ulang dari Fig.19 pada B.S. 1042, Part I:1964)





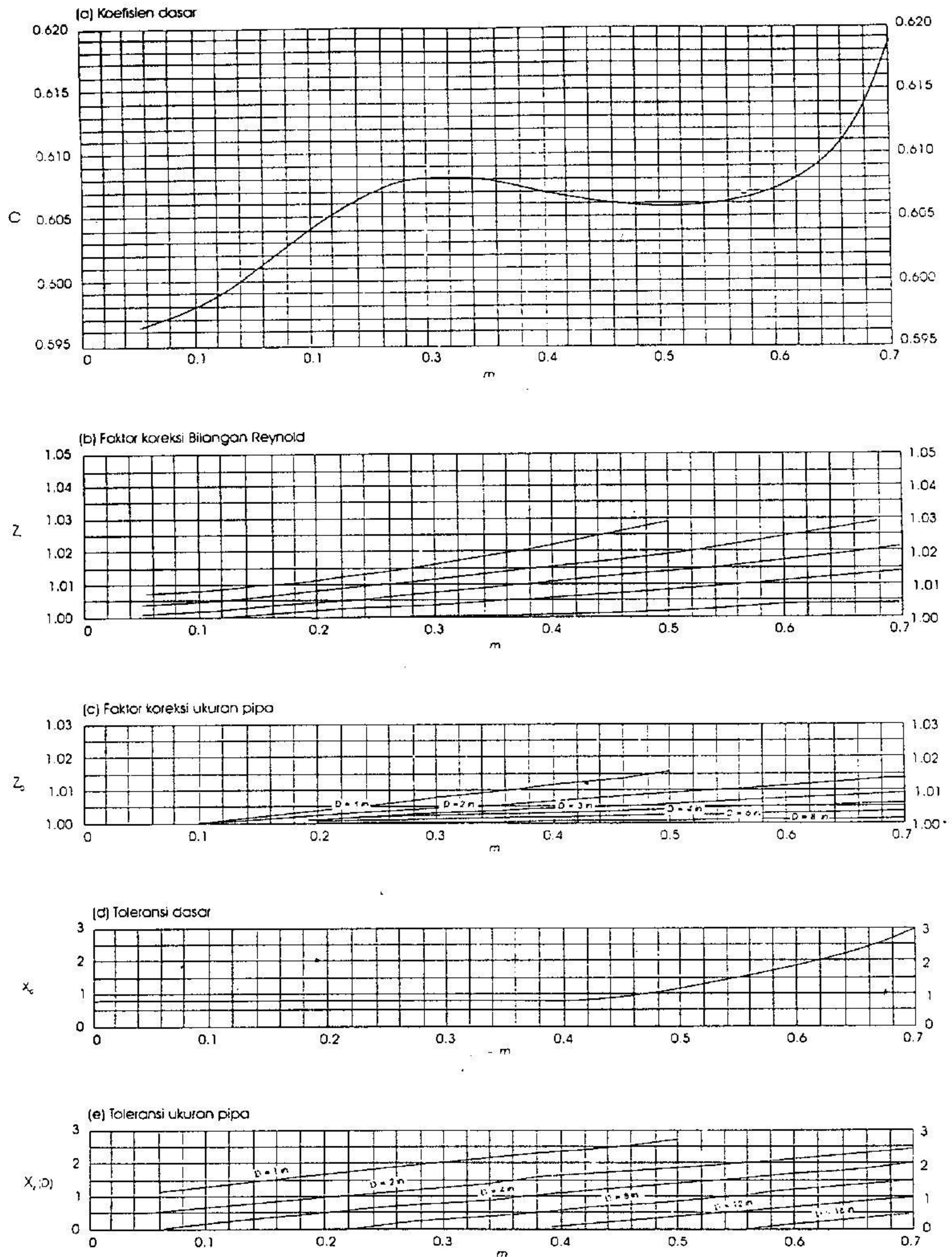
Gambar 6 Grafik rasio panas spesifik ( $\gamma$ ) uap atau  $\text{CO}_2$  versus temperatur ( $T$ )  
(Digambar ulang dari Fig.21 pada B.S. 1042, Part I:1964)





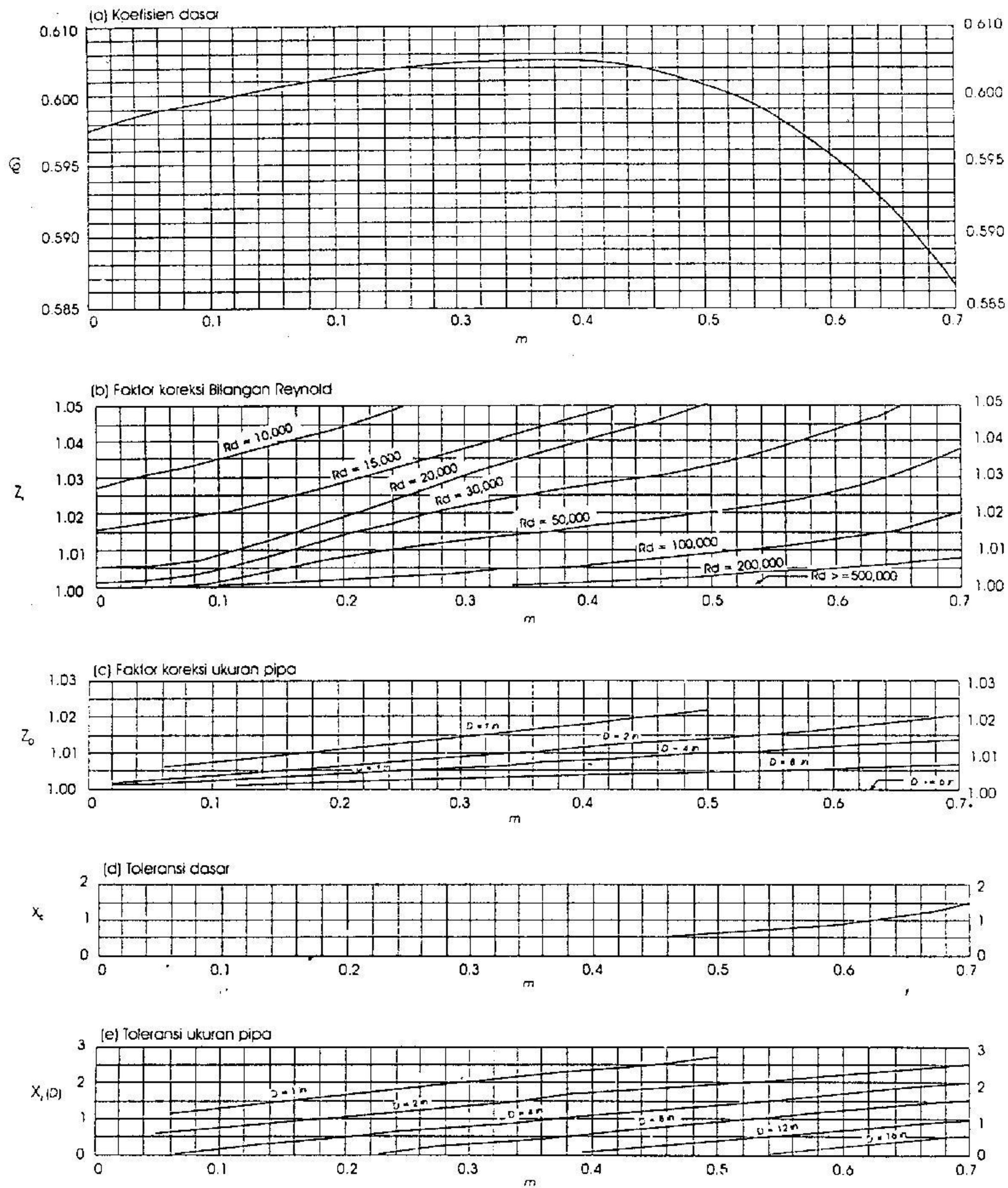
Gambar 7 Grafik factor koreksi panas beberapa logam (Digambar ulang dari Fig.5 pada B.S. 1042, Part I:1964)





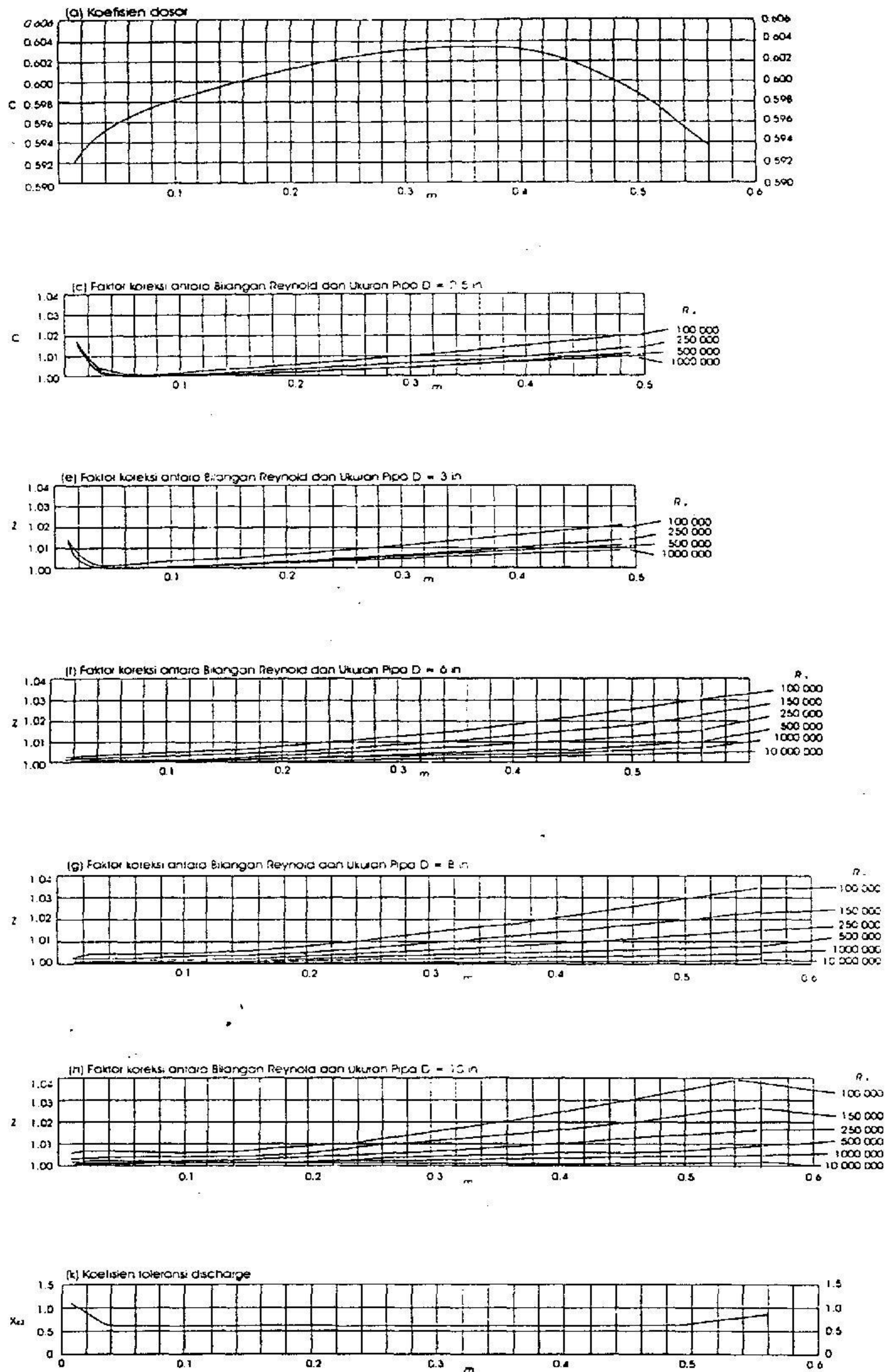
Gambar 8 Grafik data koefisien dasar  $C$  dan factor koreksi  $Z$  berdasarkan harga, bilangan Reynold dan factor koreksi ukuran pipa pada lempeng orifis dengan lubang tekanan disudut (Digambar ulang dari Fig.38 pada B.S. 1042, Part I:1964)





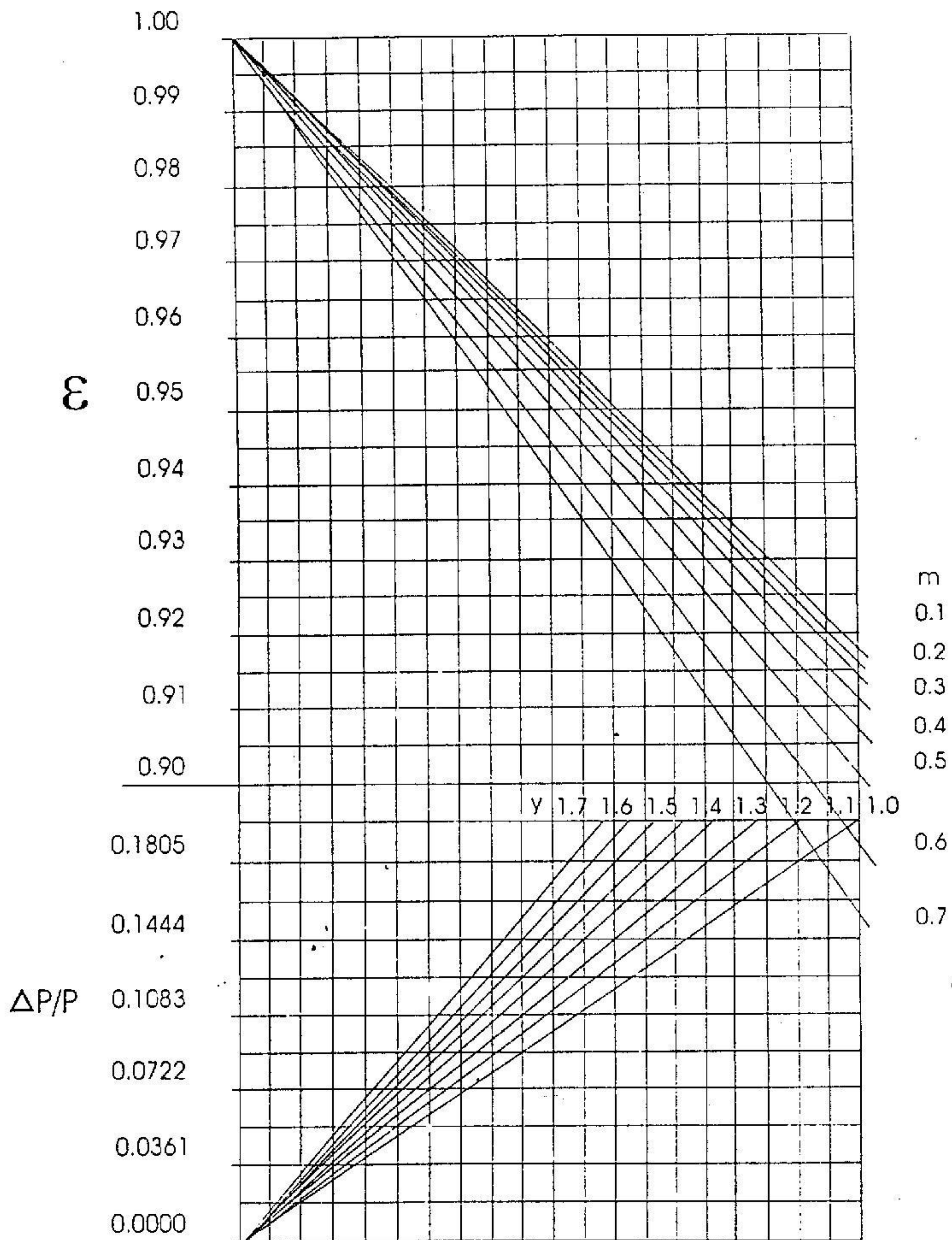
Gambar 9 Grafik data koefisien dasar  $C$  dan factor koreksi  $Z_R$  dan  $Z_D$  berdasarkan harga  $m$ , bilangan reynold dan factor koreksi ukuran pipa pada lempeng orifis dengan lubang tekanan pada  $D$  dan  $D/2$  (Digambar ulang dari fig.38 pada B.S. 1042, Part I:1964)





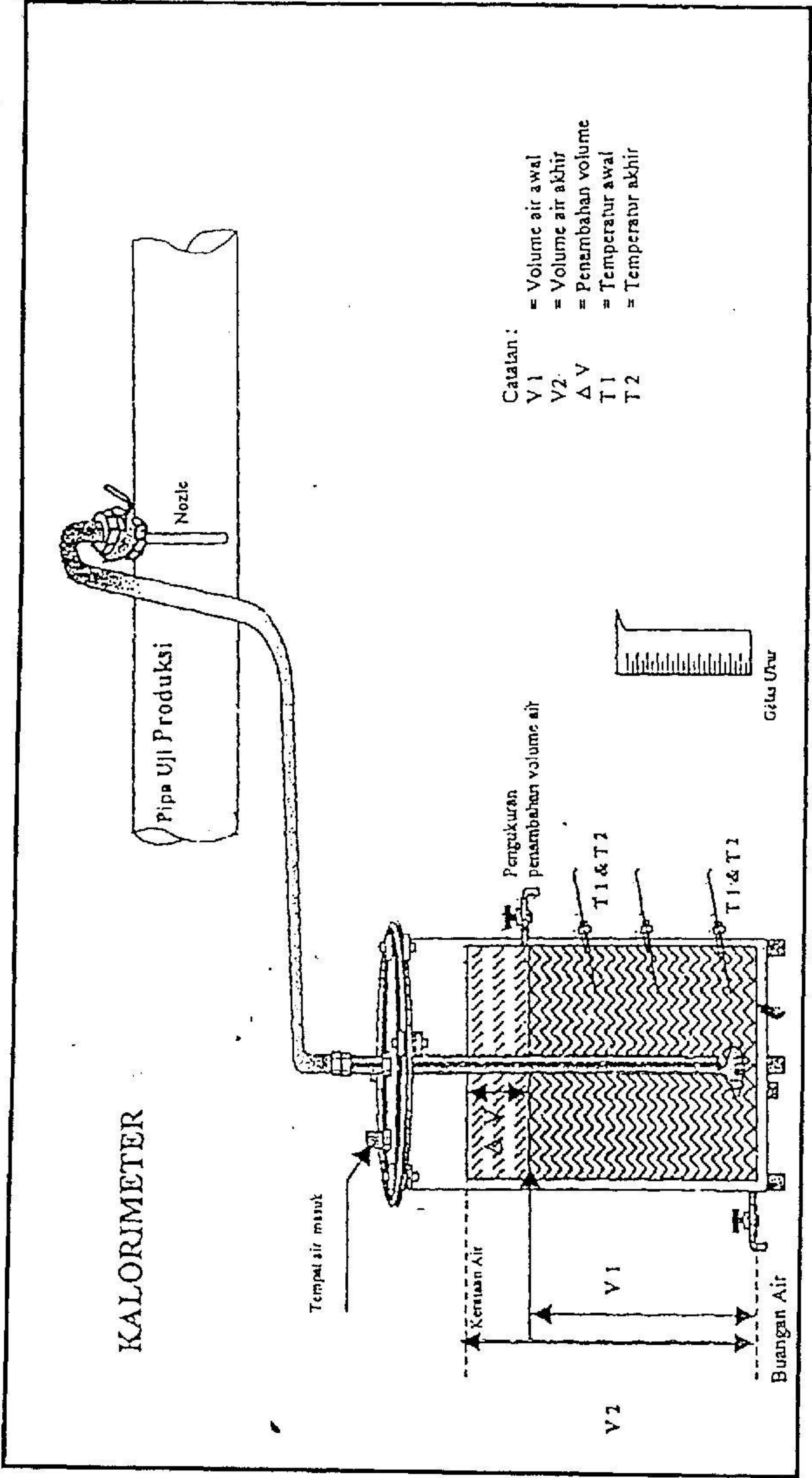
Gambar 10 Grafik data koefisien dasar  $C$ , factor koreksi  $Z$  berdasarkan harga  $m$ , kombinasi factor koreksi ukuran pipa dan bilangan reynold pada lempeng orifis dengan lubang tekanan di flensa (Digambar ulang dari fig.41 pada B.S. 1042, Part I:1964)





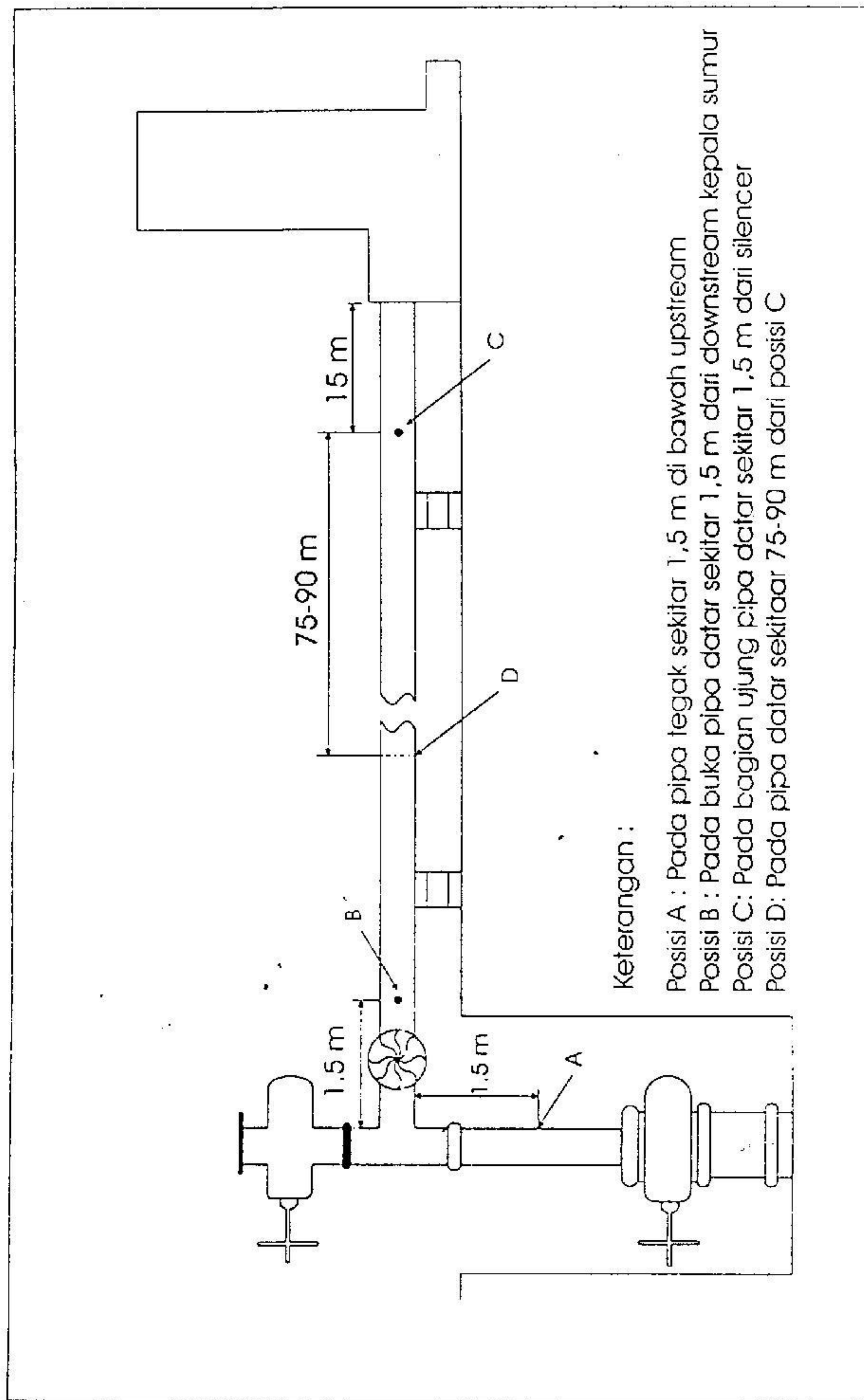
Gambar 11 Grafik data factor ekspansibilitas,  $\epsilon$  (Digambar ulang dari fig.39 pada B.S. 1042, Part I:1964)





Gambar 12 Peralatan kalorimeter dalam pengujian sumur panas bumi





Gambar 13 Titik/lokasi (A,B,C, DAN D) Pengambilan contoh air panas, uap dan gas pada pengujian sifat kimia unsur panas bumi (Sumber : Ellis & Mahon, 1977)

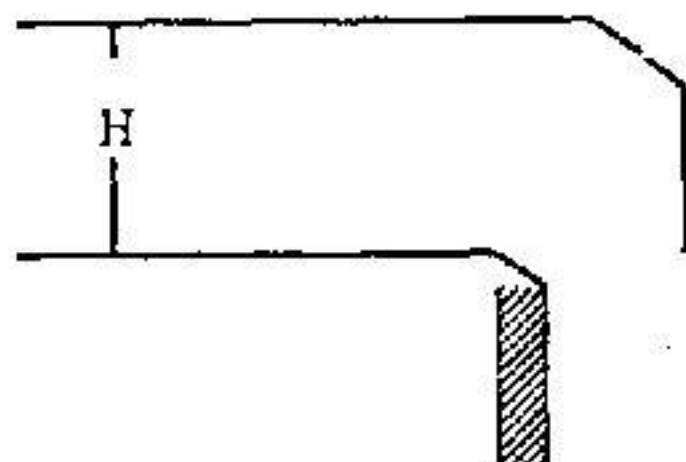


## LAMPIRAN A

**Prosedur penghitungan laju aliran air pada saluran terbuka di weirbox  
(Rectangular-notch dan 90° V-notch-weir)**

**A1. Saluran terbuka**

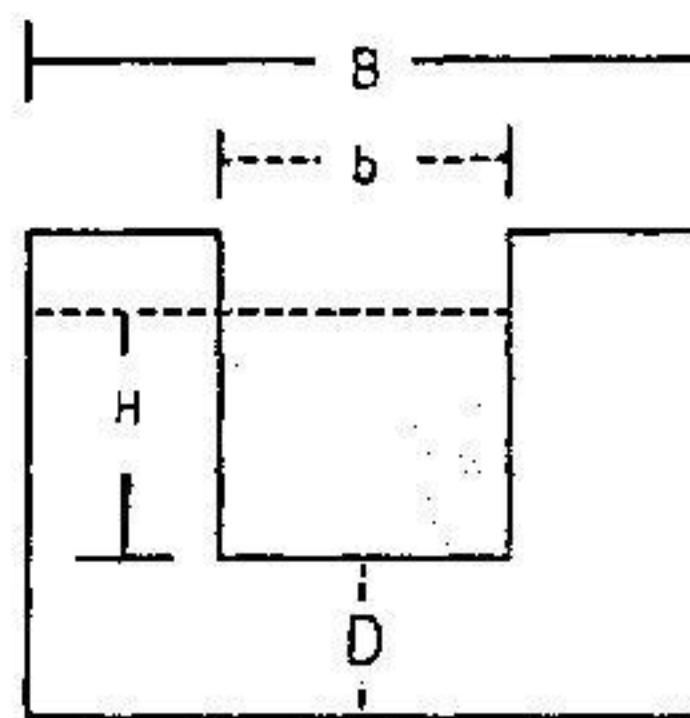
Rumus dasar penghitungan laju aliran massa air (melalui saluran terbuka) adalah sebagai berikut.



$$Q = C \left[ \frac{2}{3} B \sqrt{2g\gamma} H^{3/2} \right] \quad (1)$$

Dimana,  $Q$  : Laju aliran massa air panas ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )  
 $C$  : Koefisien *discharge*  
 $B$  : Lebar weirbox (m)  
 $g$  : Percepatan gravitasi ( $= 9.81 \text{ m/sec}^2$ )  
 $\gamma$  : Densitas air panas ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $H$  : Tinggi air pada celah weirbox (m)

*Cari Gambar Yang Lebih Memadai  
Untuk Formula Tersebut di atas !!*

**A2. Rectangular-notch weir (untuk aliran yang besar atau  $H > 12''$ )**

Rumus dasar perhitungan laju aliran air pada *rectangular-notch weir* adalah sebagai berikut.

$$Q = K \cdot b \cdot H^{3/2} \quad (2)$$

Dimana,  $Q$  : Laju aliran massa air panas ( $\text{m}^3/\text{menit}$ )  
 $K$  : Koefisien aliran (*discharge*),  
determined dengan persamaan (3).  
 $H$  : Tinggi air pada celah weirbox (m).  
 $D$  : Tinggi celah dari dasar weirbox (m)  
 $b$  : Lebar celah weirbox (m).  
 $B$  : Lebar weirbox (m).

$$K = 0.7 \cdot \frac{0.177}{H} \cdot 14.2 \frac{1}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)}{DB}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (3)$$

Parameter di bawah ini berlaku untuk penentuan  $K$  pada persamaan (3)

$$B = 0.5 - 6.5 \text{ m} \quad D = 0.15 - 3.5 \text{ m}, \quad b = 0.15 - 5 \text{ m}, \quad H = 0.03 - 0.045 \sqrt{b} \text{ m}, \quad \frac{bD}{B^2} > 0.1$$

**CATATAN.**

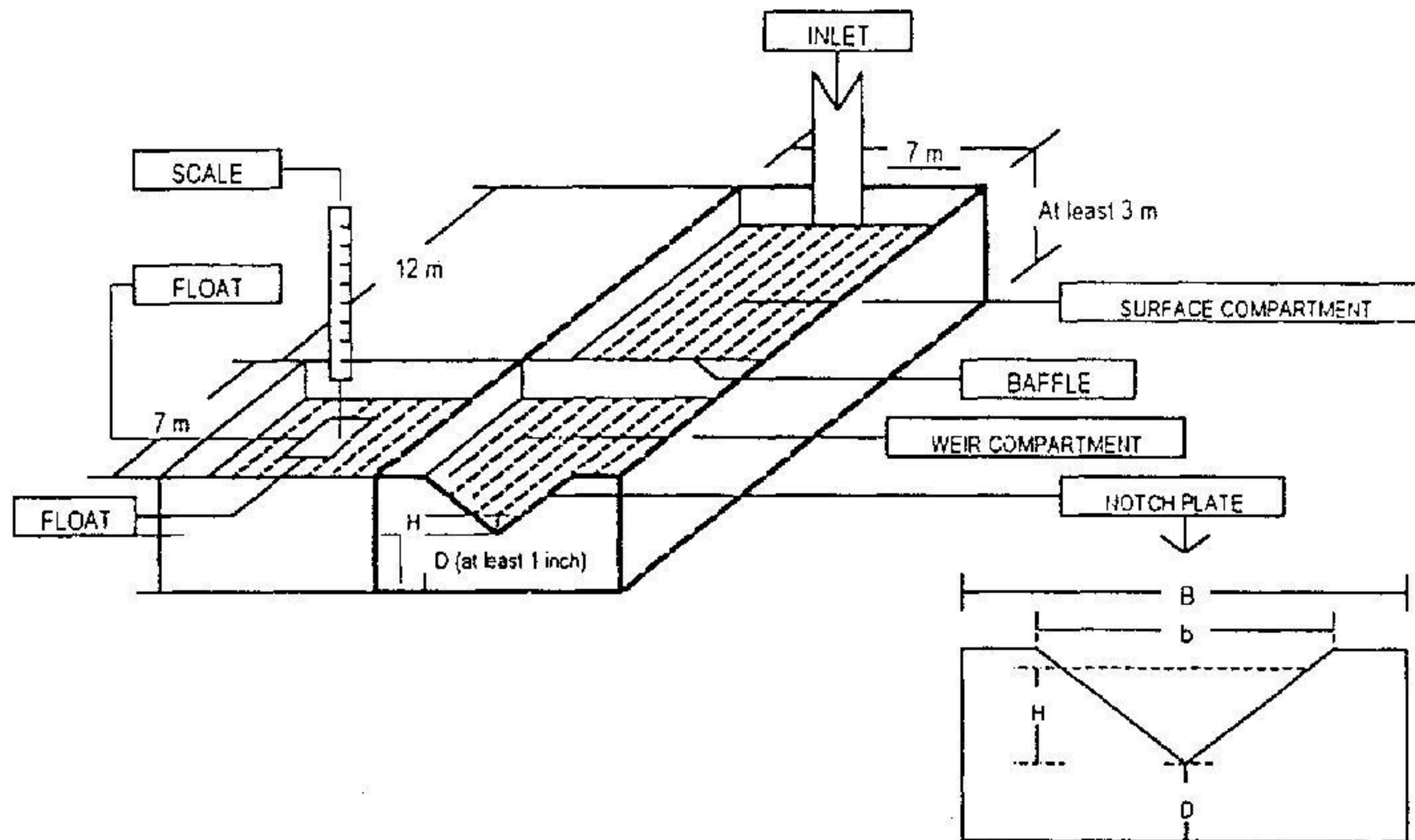
Aliran air panas yang mempunyai volume sangat kecil, disarankan untuk mengukur laju aliran massa air ( $Q$ ) dengan gelas ukur dan dibantu perlengkapan stop watch untuk menentukan waktu pengukuran volume. Densitas air panas,  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) didapatkan dari *steam table* pada temperatur air panas dalam tabung gelas. Kemudian dihitung laju alir massa air panas,  $W = Q \rho$  ( $\text{kg/detik}$ ) yang akan digunakan dalam menentukan entalpi air panas ( $h$ ) sesuai prosedur dari metode tekanan kritis pipa lip.



## LAMPIRAN A (Lanjutan)

A3. Tipe 90° "V-notch weir" (laju aliran kecil atau  $H < 12"$ )

Alat ini mempunyai satu lubang terbuka, dilengkapi *baffles* yang mengontrol adanya gangguan aliran permukaan dan *V-notch meter*. Konstruksi *V-notch weir* diperlihatkan pada sketsa di bawah ini.



Rumus dasar perhitungan laju aliran air sebagai berikut.

$$Q = K \cdot H^{5/2} \quad (4)$$

Dengan mensubstitusi parameter di bawah ini terhadap rumus (5), diperoleh turunan rumus (6) dan (7).

$$B = 0.5 - 1.2 \text{ m}, \quad H = 0.07 - 0.26 \text{ m}, \quad D = 0.1 - 0.75 \text{ m}, \quad H = \text{Lebih rendah dari } B/3$$

$$K = 81.2 \frac{0.24}{H} \left( 8.4 - \frac{12}{UD} \right) \left( \frac{H}{B} - 0.09 \right)^2 \quad (5)$$

Dimana,  $Q$  : Laju aliran air panas ( $\text{m}^3/\text{menit}$ )  
 $W$  : Laju aliran massa air panas ( $\text{kg}/\text{menit}$ )  
 $H$  : Tinggi air pada celah *weirbox* (m)  
 $B$  : Lebar *weirbox* (m)  
 $b$  : Lebar celah *weirbox* (m)  
 $D$  : Tinggi celah dari dasar *weirbox* (m)  
 $K$  : Koefisien aliran (*discharge*)

$$Q = 0.824 H^{2.5} \quad (6)$$

$$W = 0.8 H^{2.5} \quad (7)$$

Dimana,  $Q$  : Laju aliran air panas (liter/menit)  
 $W$  : Laju aliran massa air panas ( $\text{kg}/\text{menit}$ )  
 $H$  : Tinggi air pada celah *weirbox* (cm)



## LAMPIRAN B

### Penghitungan Diameter Lubang Orifis

Rumus dasar perhitungan diameter lubang orifice diperoleh dari turunan rumus laju aliran massa, laju aliran dalam volume dan persamaan untuk mendapatkan bilangan Reynold dengan mensubsitusi  $mD^2$  untuk  $d^2$ . Perhitungan diawali dengan menentukan harga N yang didapatkan dari persamaan berikut: Besarnya N dapat dievaluasi dari data yang diketahui sebelumnya.

$$N = \frac{W}{359.2 D^2 \sqrt{h} \rho} = \frac{Q \sqrt{(\rho)}}{359.2 D^2 \sqrt{(h)}} = \frac{Qg \sqrt{(\rho)}}{2238 D^2 \sqrt{(h)}} \quad (1)$$

Tahapan berikut adalah menghitung besarnya  $mE$  yang berhubungan dengan N dengan persamaan

$$mE = N/CZ\epsilon \quad (2)$$

Tetapi karena C, Z dan  $\epsilon$  tergantung harga m, besarnya  $mE$  tidak dapat dievaluasi langsung dari persamaan 2 tersebut di atas. Hai ini ditemukan dengan satu metode perkiraan berikut yang diterangkan di bawah ini dengan menggunakan hubungan :

$$CmE = N/Z\epsilon \text{ dan } mE = CmE/C \quad (3a, 3b)$$

Bilangan Reynold diperlukan dalam tahapan perhitungan  $mE$  yang diberikan oleh persamaan.

$$Rd = \frac{W}{15.8 \mu D \sqrt{(m)}} = \frac{Q\rho}{15.8 \mu D \sqrt{(m)}} = \frac{Qg\rho}{98.6 \mu D \sqrt{(m)}} \quad (4)$$

Tahap akhir adalah menghitung rasio diameter  $d/D$  dari  $mE$ , dan kemudian diameter lubang orifice, dengan mengikuti persamaan,



$$d/D = \left[ \frac{(mE)^2}{1 + (mE)^2} \right]^{1.4} \quad (5)$$

Dimana :

N	adalah nilai $CZ \in E_m$ (non-dimensional)	d	Diameter lubang orifice (inches)
	Perkiraan Laju alir massa (lb/h)	E	Faktor ekspansibilitas
Q	Laju alir fluida (ft <sup>3</sup> /h).	E	Faktor pendekatan kecepatan
Qg	Laju alir fluida (UKgal/h).	In	Rasio luas penampang (= $d^2/D^2$ )
h	Perbedaan tekanan (lbf/in <sup>2</sup> ).	Rd	Bilangan Reynold
D	Diameter pipa uji (inches)	C	Koefisien dasar
p	Densitas fluida (lb/ft <sup>3</sup> ).	Z	Faktor koreksi
μ	Viskositas fluida pada lubang di upstream (poise)		





## LAMPIRAN C

### Penghitungan laju alir massa air dan massa uap di kepala sumur

Perhitungan laju aliran sumur panas bumi bersistem dua fasa berdasarkan adanya neraca massa pada seluruh sistem aliran (Gb. C) dengan mempertimbangkan proses penguapan (flashing) di kepala sumur dan separator (separator bertekanan dan separator atmosferik). Data yang diperlukan, rumus dan prosedur perhitungan dijelaskan di bawah ini.

#### C1. Data Yang Diperlukan

1. tekanan kepala sumur, TKS (bar abs.)
2. temperatur di kepala sumur, Twh (°C)
3. tekanan di separator, Psp (bar abs.)
4. temperatur di separator, Tsp (°C)
5. tekanan di pipa air, Pwl (bar abs.)
6. temperatur di pipa air, Twl (°C)
7. tekanan di pipa uap, Pu (bar abs.)
8. temperatur di pipa uap, Tu (°C)
9. temperatur di weirbox (°C)
10. tekanan udara luar (bar).

#### C2. Prosedur dan Rumus Dasar Perhitungan

1. Penghitungan laju aliran massa air di *weirbox*

$$W3 = 0,0133 \times H^{2.5} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

W3 = laju aliran massa air di *web-box* (kg/detik)

H = tinggi air di 90° V-notch (cm)

2. Penghitungan laju aliran massa air di separator

$$W2 = 1/(1-X) \times W3 \dots\dots\dots (2)$$



Dimana,

$W_2$  = laju aliran massa air dari separator (kg detik)

$X$  = fraksi uap  $\{X = (h - h_f) / h_{fg}\}$

$H$  = entalpi fluida pada tekanan separator (kJ/kg)

$h_f$  = entalpi air pada tekanan atmosfer (kJ/kg)

$h_g$  = entalpi uap pada tekanan atmosfer (kJ/kg)

$h_{fg}$  = entalpi penguapan ( $h_f - h_g$ ), kJ/kg

3. Penghitungan laju aliran massa air dan massa uap di kepala sumur

$$S_1 = \frac{(h_{f2} - h_{f1}) W_2 + (h_{g2} - h_{f1}) S_2}{h_{g1} - h_{f1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W_1 = \left(1 - \frac{h_{f2} - h_{f1}}{h_{g1} - h_{f1}}\right) W_2 + \left(1 - \frac{h_{g2} - h_{f1}}{h_{g1} - h_{f1}}\right) S_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dimana,

$W_1$  = laju aliran massa air pada kepala sumur (kg/detik)

$S_1$  = laju aliran massa uap di kepala sumur (kg/detik)

$S_2$  = laju alir massa uap di separator (kg/detik)

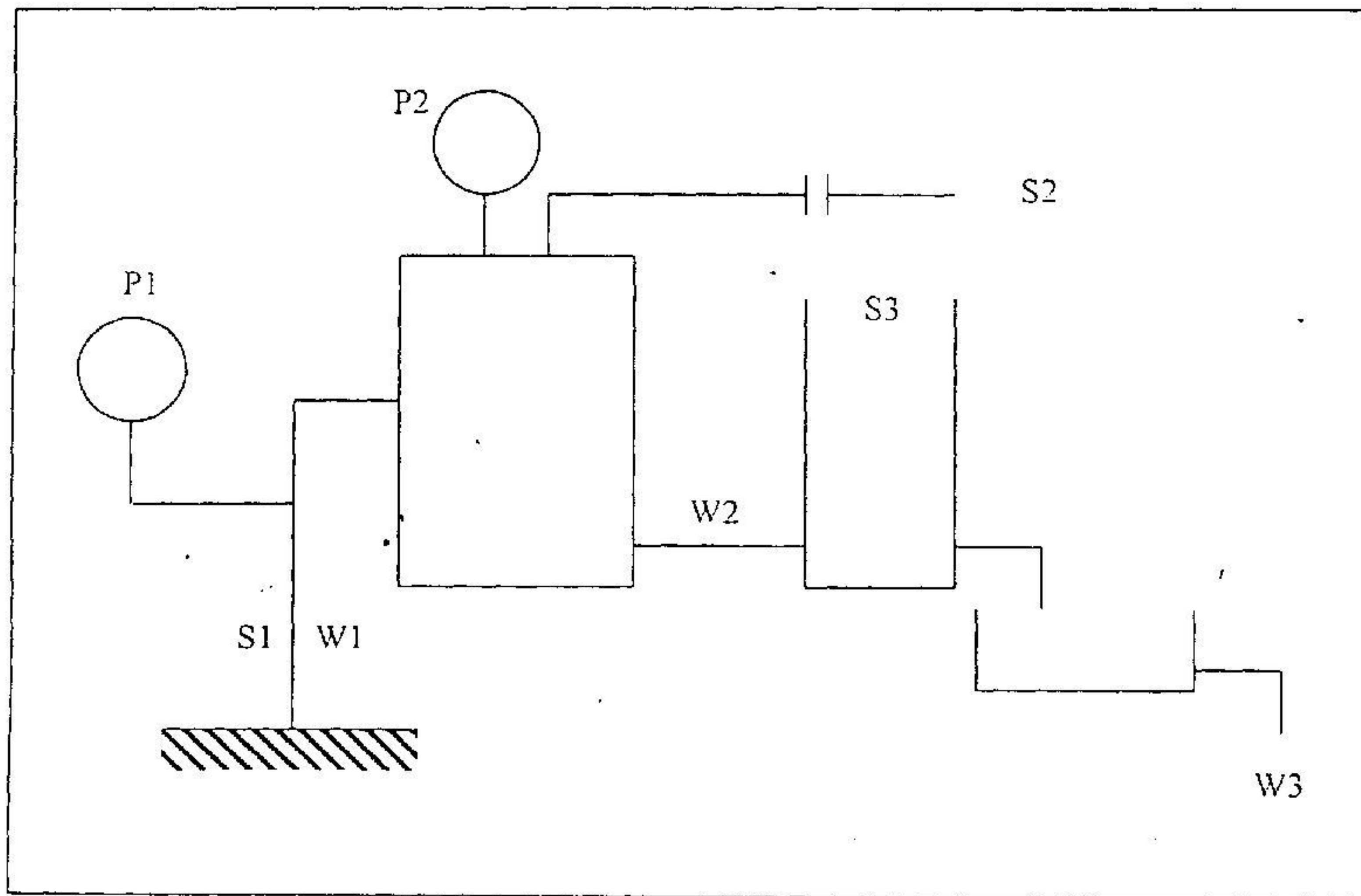
$h_{f1}$  = entalpi air pada kepala sumur (kJ/kg)

$h_{f2}$  = entalpi air pada separator (kJ/kg)

$h_g$  = entalpi uap pada kepala sumur (kJ/kg)

$h_{g2}$  = entalpi uap pada separator (kJ/kg)





Gambar C. Skematik diagram uji alir fluida dengan metode separator



## LAMPIRAN D

Contoh data dan hasil menukuran kalorimeter

Sumur	:					
Tanggal	:					
Tekanan atmosphere	=	0,84	bar	=	0.86	ksc
Tekanan Kepala Sumur	=	11,20	kscg			
Tekanan Separator	=	10,00	kscg			
Pu	=	8,90	kscg	=	9.57	bar abs.
Tu	=	178,00	°C			
dP	=	0,84	ksc			
Laju alir uap di pipa uji, W	=	56,051	ton / jam			
Waktu mulai pengukuran	:	11.20	WIB			
Lama pengukuran	:	55	menit			

Parameter	Simbol	Satuan	Rumus	Pengukuran		
				1	2	3
Volume air awal	V1	liter		27,950	27,950	27,950
Temperatur air awal	t1	°C		24,00	24,00	24,00
Volume spesifik awal	vf1	cm <sup>3</sup> /gr		1,0028	1,0028	1,0030
Berat air awal	W1	kg	$V1 \times 1/vf1$	27,872	27,872	27,866
Entalpi air awal	hf1	kJ/kg		100,59	100,59	104,77
Energi air awal	H1	kJ	$W1 \times hf1$	2803,64	2803,64	2919,56
Pertambahan volume	dV	liter	.	1,390	1,400	1,350
Volume akhir	V2	liter	$V1 + dV$	29,34	29,35	29,30
Temperatur air akhir	t2	°C		49,00	50,00	50,00
Volume spesifik akhir	vf2	cm <sup>3</sup> /gr		1,0116	1,0121	1,0121
Berat air akhir	W2	kg	$V2 \times 1/vf2$	29,00	29,00	28,95
Entalpi air akhir	hf2	kJ/kg		205,08	209,26	209,26
Energi air akhir	H2	kJ	$W2 \times hf2$	5948,05	6068,35	6058,02
Pertambahan berat	dW	kg	$W2 - W1$	1,13	1,13	1,08
Pertambahan energi	dH	kJ	$H2 - H1$	3144,41	3264,71	3138,45
Entalpi discharge	ho	kJ/kg	$dH / dW$	2778,73	2896,43	2897,10

Catatan . vf dan hf dari *Steam Tables*

Kebasahan uap (X)	=	$\{ 1 - (ho - hf) / hfg \} \times 100\%$		
- Berdasarkan Pu	=	8,9 kscg	hf =	754,16 kJ/kg
		9,57 bar abs	hfg =	2022,10 kJ/kg
			X =	- 0,12 %
- Berdasarkan Tu		178 °C	hf =	754,30 kJ/kg
			hfg =	2022,00 kJ/kg
			X =	- 0,12 %

Kebasahan uap rata-rata berdasarkan Pu dan Tu = - 0,12 %

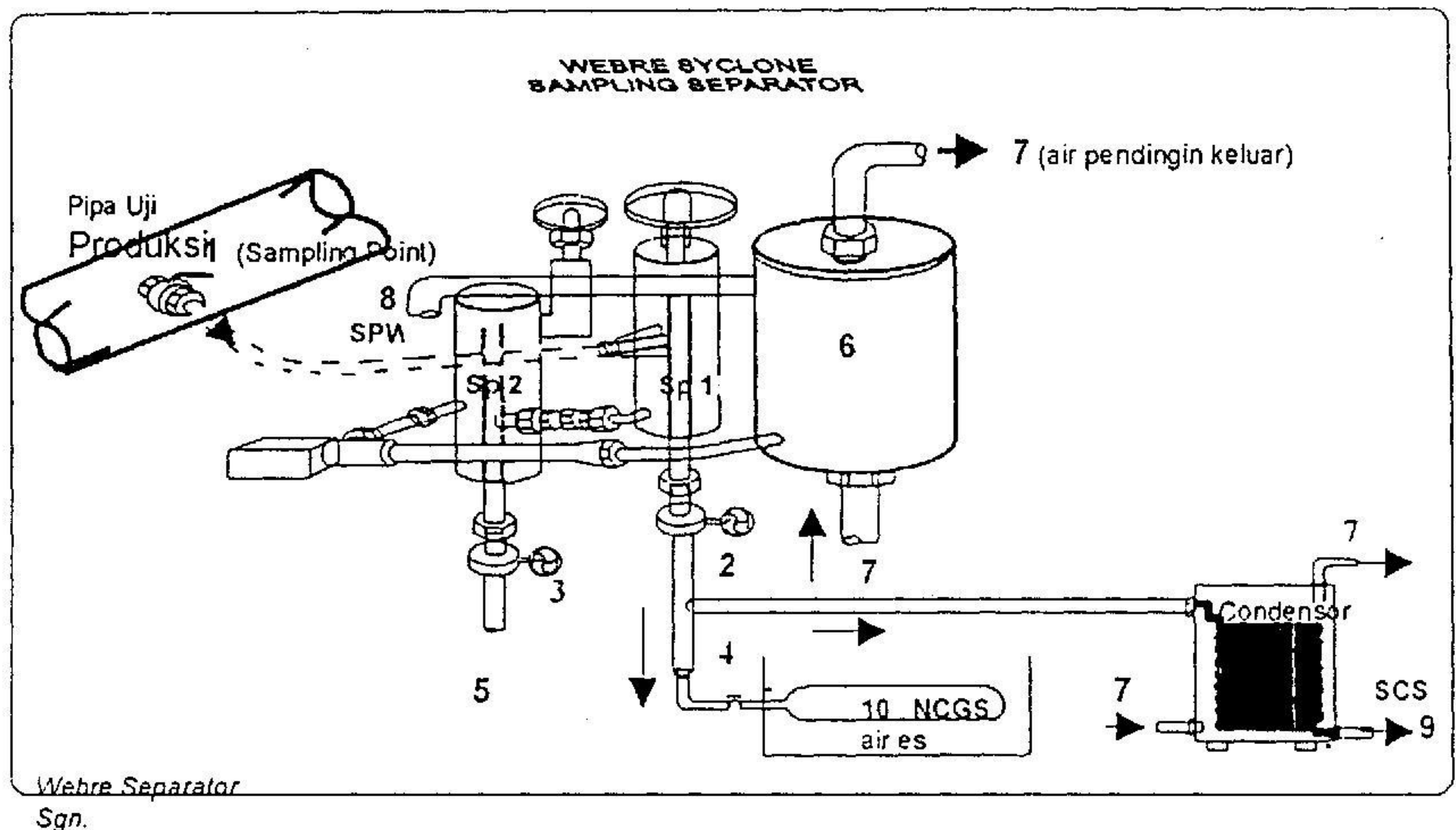


## LAMPIRAN E

## Prosedur pengambilan contoh pada pengujian sifat kimia sumur panas bumi

## E.1 Sketsa Peralatan Pengambilan Contoh

Sketsa peralatan yang diperlukan pada lokasi pengambilan contoh (*sampling point*) diperlihatkan pada gambar dibawah ini. Prosedur pengambilan contoh uap, air panas dan gas dalam uap (NCGS) dijelaskan sebagai berikut.

Keterangan

- |   |   |
|---|---|
| 1. Uap - Air panas masuk                                  | 5. Uap kering yang keluar dari separator II       |
| 2. Kerangan untuk mengontrol uap keluar dari separator I  | 6. Separated water cooler                         |
| 3. Kerangan untuk mengontrol uap keluar dari separator II | 7. Air pendingin masuk dan keluar                 |
| 4. Uap kering yang keluar dari separator I                | 8. Contoh air yang telah didinginkan (SPW)        |
|   | 9. Contoh uap kering yang telah didinginkan (SCS) |
|   | 10. Contoh gas yang tidak larut (NCGS)            |

Gambar E1. Sketsa peralatan dan lokasi pengambilan contoh pada pengujian kimia sumur panas bumi



## E.2 Pengambilan Contoh Uap ( SCS )

Pengambilan contoh uap dengan menggunakan alat *webre cyclon sampling separator* mempunyai syarat tertentu yang harus dipenuhi agar separator berfungsi dengan baik antara lain.

1. *Sampling pressure* berkisar antara 1,5 s/d 30 bars
2. *Discharge enthalpy* berkisar antara 190 s/d 475 cal/g.

Prosedure pengambilan contoh uap dan air panas dengan urutan sebagai berikut :

- 1). Alat sampling tersebut di atas dipasang sedekat mungkin dengan lokasi pengambilan contoh pada jalur pipa uji alir uap. Karena alat ini tidak diinsulasi, maka harus dicegah terjadinya kehilangan panas yang besar (termasuk pertimbangan keamanan kerja) dengan membuat insulator pada peralatan tersebut.
- 2). Fluida panas bumi dari pipa uji disemburkan ke udara luar (buka penuh) selama 2-3 menit, sehingga contoh yang akan diambil benar-benar bersih.
- 3). Setelah semua kerangan pada separator ditutup, kerangan dibuka pada lokasi pengambilan contoh dan kemudian kerangan-kerangan pada separator diatur hingga tercapai kondisi seperti dibawah ini :
  - (a) fluida yang keluar dari *T-rod* adalah hanya uap kering (*thy steam*). Kondisi ini dapat dilihat dari warna uap yang transparan pada jarak beberapa mm dari ujung pipa *T-rod* dan setelah itu uap berwarna kebiru-biruan.
  - (b) pada aliran air yang dipisahkan (SPW), dihindari adanya air yang berasal dari separator, kecuali jika air tersebut terbawa oleh uap (tidak ada gelembung gas/uap bersama-sama dengan air yang mengalir keluar dari separator).
  - (c) penurunan tekanan (*pressure drop*) pada separator diusahakan sekecil mungkin ( $< 0,2$  bar)



- (d) uap berwarna keputih-putihan yang disertai tetesan air akan tampak keluar dari saluran pembuangan (discharge).
- 4). Setelah tercapai kondisi pada poin 3), dibiarkan selama 5 sampai 10 menit, sampai daya hantar listrik kondensat yang keluar dari pendingin diukur mencapai  $\leq 60 \mu\text{mhos}$ .
  - 5). Kemudian, dilakukan pengambilan contoh uap (SCS) yang keluar dari separator (Sp. 1) ke pendingin (kondenser), lihat gambar El. Selama berlangsung pengambilan contoh, separator harus selalu berada dalam kondisi pada poin 3) di atas, mencatat temperatur dan tekanan separator (Ps) saat pengambilan contoh.
  - 6). Setiap kali pengambilan contoh, diambil masing-masing 2 contoh dan dimasukkan ke dalam botol plastik (500 – 1000 ml) yang kering dan sudah dicuci dengan  $\text{HNO}_3$  10% dan dibilas dengan *aquabidest* sebanyak tiga kali. Botol ditutup rapat dan contoh disimpan dengan baik. Analisis contoh uap dikerjakan tidak lebih dari 30 hari setelah contoh diambil.

CATATAN. Jika daya hantar listrik  $60 \mu\text{mhos}$ , hal<sup>9</sup> ini mungkin disebabkan oleh tercampurnya kondensat dengan air panas (*brine water*) atau sumur panas bumi tersebut mempunyai kandungan gas yang tinggi.

### E.3 Pengambilan Contoh Air Panas (*brine water*)

Prosedur pengambilan contoh air panas (SPW) dengan menggunakan alat webre separator seperti gambar diatas adalah sebagai berikut :

- 1). Melakukan prosedur 1 sampai 4 dari prosedur pengambilan contoh uap.
- 2). Kerangan air panas (SPW) dibuka, dan dibiarkan beberapa saat untuk membersihkan kotoran-kotoran yang menempel pada lokasi pengambilan contoh, alirkan air yang keluar dari separator ke pendingin (hingga air yang keluar tidak membentuk gelembung gas).



- 3). Membuka penuh kerangan pada pendingin, keluarkan kondensat selama 5 menit sebelum pengambilan contoh. Contoh yang diambil dilakukan melalui saringan yang berukuran  $40 > \mu$  meter, kemudian dicatat temperatur dan tekanan.
- 4). Setiap kali pengambilan contoh, diambil masing-masing 2 contoh dan dimasukkan ke dalam botol plastik (500 – 1000 ml) yang kering dan sudah dicuci dengan  $\text{HNO}_3$  10% dan dibilas dengan *aquabidest* sebanyak tiga kali. Satu contoh diasamkan dengan asam nitrat pekat sampai pH=2. Botol ditutup rapat dan contoh disimpan dengan baik ditempat dingin. Analisis contoh air panas dikerjakan tidak lebih dari 30 hari setelah contoh diambil.

Catatan.

Jika contoh air bercampur dengan gas (adanya gelembung gas) dan tidak dapat dipisahkan dengan cara mengatur *valve* air, maka disarankan untuk memindahkan lokasi (titik) pengambilan contoh ke posisi di bawah pipa datar, atau ambil contoh air panas di *weirbox* sebagai pengganti contoh air panas (*brine water*).

#### E.4 Pengambilan Contoh Gas Dalam Uap

Prosedur pengambilan contoh gas dalam uap (*non-condensable gas sampling*) dilakukan dengan dua cara, yaitu (i). pengambilan contoh gas dengan tabung tipe STEM, dan (ii). dengan tabung *impinger* dan volume gas diukur dengan *dry gas meter* (DGM).

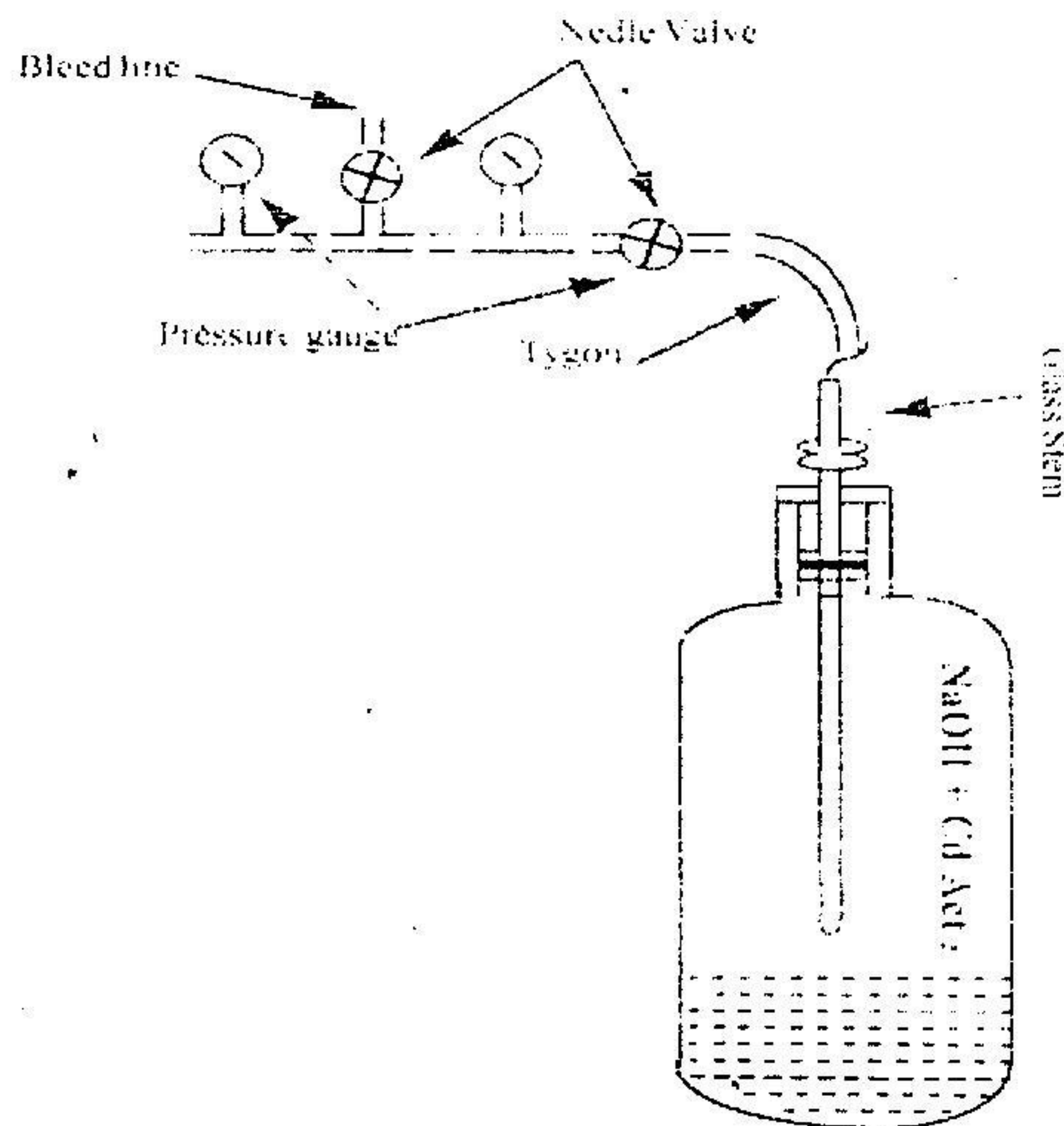
##### (i). Pengambilan contoh gas dengan tabung STEM

1. memasang *tygon tubing* di luar kondensor *gauge* pada *T-rod*, hati-hati jangan sampai memutar atau mendorong yang menyebabkan stem rusak. Mengatur *valve* kondensor dengan memutar secukupnya, sehingga tubing tidak kelebihan tekanan (*over pressure*). Tekanan pada outlet kondensor tidak boleh lebih dari 10 psig dan jika berlebihan turunkan kecepatan pengaliran contoh. Ingat, tekanan ini merupakan patokan saat mengisi botol.



Gambar E2a .  
Skema peralatan tabung stem untuk pengambilan contoh  
NCGS pada uji sumur panas bumi

BOTLE GAS TYPE STEM



2. kondensat dan *non-condensable gas* akan masuk ke dalam stem yang telah diisi larutan  $\text{Cd Ac}_2 + \text{NaOH}$  dan terperangkap pada tekanan atmosfer setelah melewati *packing-nut*. Selanjutnya, lubang kecil pada *stem* di atas *ring-o* merupakan jalan masuk gas. Apabila lubang kecil dihubungkan di bawah *ring-o*, maka contoh gas akan masuk secara kontinu.
- 3 Memberi tanda volume botol sebelum pengambilan contoh, memasukkan contoh ke dalam *stem*, menutup *stem* dengan memutar tutupnya sehingga gas dan larutan bercampur.



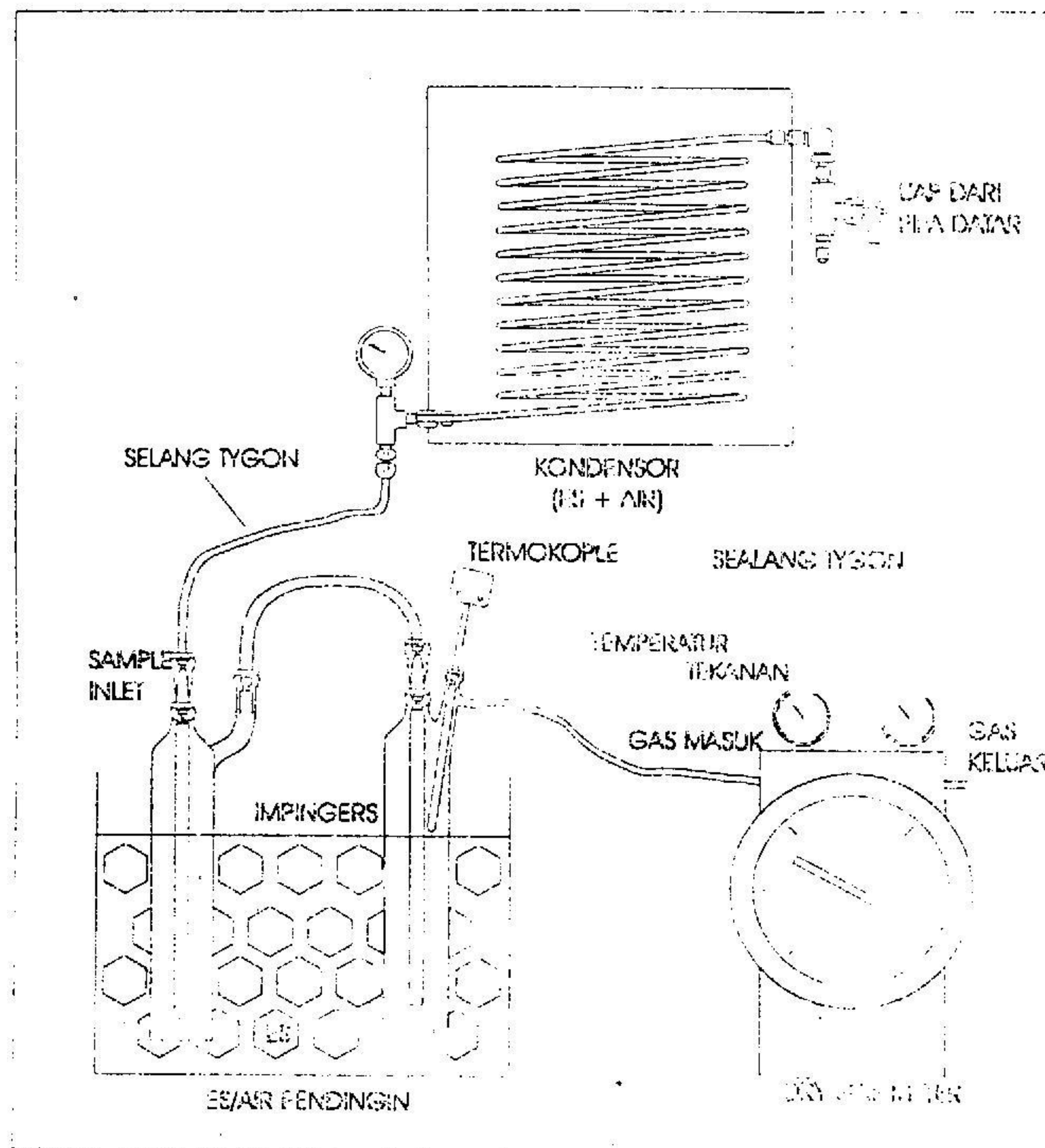
Manometer pada kondensor memperlihatkan peningkatan tekanan, jika tutup *stem* dibuka kembali contoh akan mengalir ke dalam botol. Ingat, bersamaan dengan pengambilan contoh dihindari masuknya partikel yang dapat menutup lubang *stem* dan menimbulkan kenaikan tekanan hingga lebih besar dari 10 psig.

- 4 contoh kondensat dan gas dilakukan pada tabung vakum dan dimasukkan secara perlahan-lahan hingga tekanan naik, botol yang berisi NaOH dikocok dengan kuat untuk mengikat CO<sub>2</sub>.
- 5 jika vakum tidak bisa naik lagi atau tekanan *stem* sama dengan tekanan kondensor, dan isi kontainer 3/4 penuh terhadap total larutan, pengambilan contoh dinyatakan selesai. Sumur panas bumi yang menghasilkan gas relatif besar dalam uap dan tekanan lebih tinggi akan menghasilkan sedikit volume cairan (mungkin volume akhir *stem* tidak mencapai 3/4 penuh).

**(ii). Pengambilan contoh gas dengan tabung *Impinger***

- 1). 50 ml larutan asam sitrat 0.1 M dan 25 ml larutan CdCl<sub>2</sub> 1 M dimasukkan ke dalam *impinger*-1 dengan menggunakan gelas ukur.
- 2). berat *impinger* ditimbang dengan timbangan analitik yang mempunyai ketelitian 0.1 m.gram, beberapa *impinger* dapat disiapkan dan disimpan serta ditutup sebelum digunakan.
- 3). *impinger* disusun sedemikian rupa (lihat Gambar E2) kemudian dimasukkan es ke dalam bejana.





Gambar E2. Skema peralatan tabung impinger untuk pengambilan contoh NCGS pada uji alir sumur panas



- 4). membuka *inlet-valve* kondensor dan mengatur aliran kondensat dengan aliran sedang - tinggi (selama 3 menit).
- 5). mencatat volume awal *dry gas meter* (DGM) dengan hati-hati.
- 6). mengatur kecepatan pengaliran kondensor kira-kira 100 – 200 ml/menit dengan menggunakan gelas ukur. Menghubungkan *impinger-1* dengan selang ke *outlet* kondensor.
- 7). dengan hati-hati mengurangi kecepatan aliran kondensat, jika gelembung gas dan larutan terbentuk pada *impinger-1*.
- 8). mencatat temperatur *impinger-1* dan temperatur DGM pada interval 2 menit, mencatat juga tekanan DGM jika perlu.
- 9). melanjutkan pengambilan contoh sampai volume larutan dalam *impinger* menjadi  $\frac{2}{3}$  atau  $\frac{3}{4}$  bagiannya. Menghentikan atau mengurangi kecepatan aliran jika terdapat larutan dalam *impinger-2*.
- 10). menghentikan pengambilan contoh, sumbat *inlet-impinger* dengan tangan dan hati-hati, mengamati tekanan *impinger* untuk mencapai kesetimbangan kembali (dalam beberapa detik), dengan perlahan-lahan melepaskan tabung.
- 11). mengukur temperatur kondensat pada *impinger*.
- 12). mencatat volume *dry gas meter* (DGM) akhir.
- 13). mengumpulkan kondensat pada *impinger-2* (jika ada) ke dalam *impinger-1*
- 14). mengeringkan *impinger*, kemudian ditimbang dan catat sebagai berat akhir.

Mengukur volume total larutan pada *impinger-1* dengan menggunakan gelas ukur.



- 15). mencatat tekanan lokal.
- 16). membersihkan dan mengablas'DGM dengan gas N<sub>2</sub> kering.
- 17). menggunakan sarung tangan plastik untuk menghendel larutan CdC1<sub>2</sub> dan pelindung lainnya apabila sedang menghendel *reagent* kering, larutan sisa beracun dan bersifat karsinogen harus diperlakukan sebagai limbah berbahaya.





## Bibliografi

1. Ellis, A.J. and Mahon, W.A.J., 1977. *Chemistry and geothermal systems*. Academic Press., 392 pp.
2. James, R. 1962. *Steam-water critical flow through pipes*. Proc. Inst. Mech. Engrs., 741
3. James, R. 1964. *Maximum steam flow through pipes to the atmosphere*. Proc. Inst. Mech. Engrs., 173, 473.
4. James, R. 1966. *Measurement of Steam-water Mixtures Discharging at the Speed of Sound to the Atmosphere*. New Zealand Engineering, 21 (10).
5. James, R. 1975. *Rapid Estimation of Electric Power Potential of Discharging Geothermal Wells*. Proceedings; Second United Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco.
6. Mahon, W. A. I., 1966. *A method for determining the enthalpy of a steam-water mixture discharged from a geothermal drillhole*. N.Z.J. Sci. 9, 791.
7. Grant, M. A., Donaldson, I. G. and Bixley, P. F., 1982. *Geothermal Reservoir Engineering*. Academic Press. 141 Fifth Avenue, New York 10003 – USA.